

# أساسيات الطاقة الشمسية

اسلام المناصير

# أساسيات الطاقة الشمسية


رقم الايداع لدى دائرة المكتبة الوطنية (2026\3\1840)

| | |
|---|---|
| **عنوان الكتاب** | أساسيات الطاقة الشمسية |
| **تأليف** | المناصير ، اسلام نصر عبد الله |
| **بيانات النشير** | البلقاء : اسلام نصر عبد الله المناصير ، 2026 |
| **الوصف المادي** | 113 صفحة . |
| **رقم التصنيف** | 621.47 |
| **الواصفات** | / الطاقة الشمسية // الطاقة المتجددة // الهندسة الحرارية // هندسة الطاقة // الموارد المتجددة / |
| **الطبعة** | الطبعة لاولى |

يتحمل المؤلف كامل المسؤلية القانونية عن محتوى مصنفه ولايعبر هذا عن رأئي الدائرة المكتبة الوطنية أو أي جهة حكومية أخرى .




**هذا الكتاب أُعد لأغراض ثقافية وعلمية،**

**ويهدف إلى نشر المعرفة في مجال أنظمة الطاقة الشمسية**

**وفق أسس هندسية وحسابات عملية دقيقة.**

# الفهرس

# مقدمة الكتاب

هذا الكتاب يُعد مرجعًا أساسيًا وشاملًا لفهم أساسيات الطاقة الشمسية، حيث يغطي الجوانب الكهروضوئية والحرارية من حيث المكونات، التصميم، والحسابات.

تم إعداد المادة العلمية بناءً على جهود شخصية، مع التأكد من أن جميع الصور المستخدمة لا تنتهك حقوق الملكية الفكرية فمنها ما أوخذ من مواقع مجانية او ولدت باستخدام الذكاء الاصطناعي، والاعتماد الكامل على مراجع علمية موثوقة دون نسخ مباشر لأي محتوى.

يغطي الكتاب جميع الجوانب التقنية الضرورية لتصميم وتشغيل أنظمة الطاقة الشمسية، بما في ذلك تحديد زاوية الميل والاتجاه الصحيح للألواح الشمسية، تأثير الظلال على الأداء، وصيانة وتنظيف الألواح الكهروضوئية.

ويهدف الكتاب إلى تقديم مدخل متكامل للمبتدئين والمهندسين الجدد، بحيث يمكنهم تطوير مهاراتهم وتصميم الأنظمة الشمسية المختلفة للبيوت، المزارع، والمصانع الصغيرة. كما يتضمن مقدمة إلى برامج تصميم الطاقة الشمسية، ويتيح للقارئ فهم أساسيات الأنظمة والتصميمات المختلفة، مع التركيز على السلامة المهنية ومعايير الحماية أثناء التركيب والتشغيل.

باختصار، يشكل هذا الكتاب قاعدة أساسية لتأسيس معرفة متكاملة في مجال الطاقة الشمسية، ويُمكّن القارئ من الانتقال بعد ذلك إلى التطبيقات العملية والتصاميم المتقدمة بثقة وفهم كامل.

الهدف: إعداد مادة علمية شاملة لتعليم المبتدئين والمهندسين الجدد أساسيات الطاقة الشمسية، مع التركيز على التصميم، الحسابات، والتطبيقات العملية.

جهود ذاتية: تم إعداد المادة العلمية والكتاب من جهود شخصية، مع الاعتماد على مراجع علمية موثوقة لضمان صحة المعلومات وتقديم مرجع شامل.

# مقدمة في الطاقة الشمسية

**الطاقة الشمسية :** هي من أهم أنواع الطاقة المتجددة التي يتم الحصول عليها من الإشعاع الشمسي و تحويلها الى كهرباء عن طريق استخدام اللألواح الشمسية الكهروضوئية او الأنظمة الحرارية حيث تعد من الطرق الأمنة والصديقة للبيئة.

## أنواع الطاقة الشمسية

**1.الطاقة الشمسية الحرارية:** هي الطاقة التي تعتمد على الاشعاع الشمسي لانتاج طاقة حرارية تستخدم لتسخين المياه التي تستخدم في أنظمة التدفئة او المياه الساخنة لاستخدامات الصحية او السكنية او الصناعية.

**الطاقة الشمسية المركزة CSP:** تندرج هذه الطاقة كنوع فرعي من الطاقة الشمسية الحرارية حيث يتم استخدام العدسات والمرايا التي تركز الإشعاع الشمسي على سطح محدد لتوليد طاقة كهربائية عن طريق استخدام تركيز الاشعاع الشمسي الذي ينتج حرارة لغلي الماء لانتاج البخار وتوليد الطاقة الكهربائية.

**2.الطاقة الكهروضوئية PV:** هي الطاقة الناتجة عن تحويل الاشعاع الشمسي بشكل مباشر الى كهرباء باستخدام أشباه المواصلات السيليكون .

حيث تستخدم الألواح الكهروضوئية لانتاج الطاقة الكهربائية حيث تولد تيار كهربائي DC يتم تحوليه الى تيار متردد AC عبر العاكس Inverter للاستخدام المنزلي والصناعي.

**أهمية الطاقة الشمسية:** تعد من أهم مصادر الطاقة المتجددة والأكثر استخداما لانتاج الكهرباء بعد الوقود الأحفوري وتتميز بأنها صديقة للبيئة ومصدر طاقة نظيف لا ينفذ وتتميز بعدم التعقيد في تركيب انظمتها مقارنة بانظمة انتاج الطاقة الكهربائية من الوقود الأحفوري وذات جدوى اقتصادية كبيرة خصوصا في الدول الفقيرة نسبيا او الدول التي لديها مشاكل في انتاج الطاقة الكهربائية وهي من أبرز الحلول كطاقة بديلة في حال نفاذ الوقود الاحفوري مستقبلا حيث يتم حاليا تطوير مجال الطاقة الشمسية واكتشاف والعمل على تحسين اداء وانتاجية الطاقة الشمسية بشكل اكبر عاما بعد عام .

## المقارنة بين الطاقة الشمسية والكهرباء التقليدية

### 1. الجانب الاقتصادي

على المدى القصير، يبدو الاعتماد على الكهرباء التقليدية أسهل من الناحية المادية، إذ لا يتطلب أي استثمار أولي، ويكتفي المستخدم بدفع قيمة الفاتورة الشهرية. بالمقابل، تتطلب أنظمة الطاقة الشمسية تكلفة تركيب وتجهيز أولية قد تُعتبر مرتفعة للبعض مع ذلك، هذه التكلفة لا تتكرر، ومع مرور الوقت يبدأ المستخدم في جني فوائد الاستثمار من خلال انخفاض النفقات أو اختفائها تمامًا. وعلى المدى الطويل، تظهر الأفضلية للطاقة الشمسية بوضوح، إذ تختفي الفواتير الشهرية، وتظل تكاليف الصيانة محدودة، إضافة إلى العمر الطويل للألواح الذي يتجاوز خمسة وعشرين عامًا، بينما تستمر أسعار الكهرباء التقليدية في الارتفاع نتيجة تقلبات أسعار الوقود والظروف الاقتصادية.

### 2. الاستدامة ومصادر الطاقة

تعتمد الكهرباء التقليدية على مصادر طاقة غير متجددة، ما يجعلها معرضة للنضوب مستقبلًا. أما الطاقة الشمسية فتعتمد على مصدر طبيعي متجدد لا ينقطع، مما يمنحها قيمة استراتيجية في تحقيق الاستدامة وضمان أمن الطاقة للأجيال القادمة. كما يساهم اعتماد الطاقة الشمسية في تخفيف الضغط على شبكات الكهرباء العامة.

### 3. الأثر البيئي

تشكل محطات الكهرباء التقليدية مصدرًا لانبعاث الغازات الضارة، مما يؤدي إلى تلوث البيئة وتفاقم المشكلات الصحية. في المقابل، تتميز الطاقة الشمسية بنظافتها البيئية، إذ لا تصدر عنها أي ملوثات أو ضوضاء، مما يقلل البصمة الكربونية ويساهم في حماية البيئة.

### 4. استقرار الخدمة واستمراريتها

تتأثر الكهرباء التقليدية بانقطاعات محتملة في الشبكة العامة، خصوصًا في أوقات الذروة. بينما توفر أنظمة الطاقة الشمسية، خاصة المزودة ببطاريات تخزين، مصدرًا موثوقًا للكهرباء حتى عند حدوث انقطاع، مما يمنح المستخدم استقلالية أكبر

### 5. الصيانة ومتطلبات التشغيل

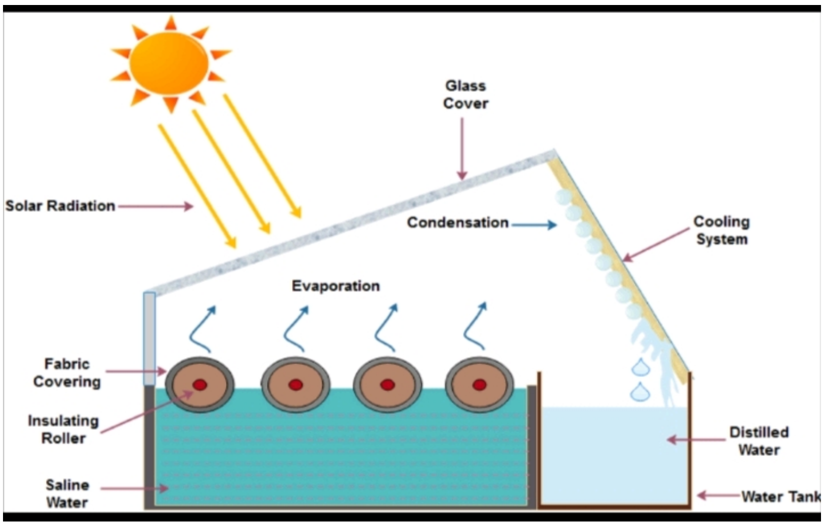
تتطلب الشبكات التقليدية صيانة دورية معقدة ومكلفة، في حين تتميز أنظمة الطاقة الشمسية ببساطة التشغيل، إذ تقتصر الصيانة على التنظيف الدوري للألواح وفحص التوصيلات، مما يقلل التكاليف والجهد على المدى الطويل.



شكل(1) المقارنة بين الطاقة الشمسية والكهرباء

## تطبيقات على استخدام الطاقة الشمسية

**1.التقطير الشمسي :-** تعد من أبرز الحلول للمناطق القاحلة والساحلية حيث يتم باستخدام هذه التقنية ازالة الأملاح بكفاءة ليصبح صالحا للشرب من خلال استخدام الاشعاع الشمسي.




شكل (2) نموذج توضيحي لعملية التقطير الشمسي

**2.الضخ بالطاقة الشمسية :-** تستخدم أنظمة الضخ بالطاقة الشمسية كبديل لانظمة الضخ بالديزل وتستخدم في المناطق الزراعية البعيدة غالبا لتخزين المياه للشرب والراي واستخدامها لاحقا وتعد اكثر فعالية من خلال مواسم الجفاف والمواسم المشمسة كونها لا تتطلب استهلاك وقود ويتماشى استخدامها بشكل طبيعي مع الاشعاع الشمسي حيث انه يزداد الطلب على المياه خلال فصل الصيف ويكون الاشعاع الشمسي في ذورته وقتها.

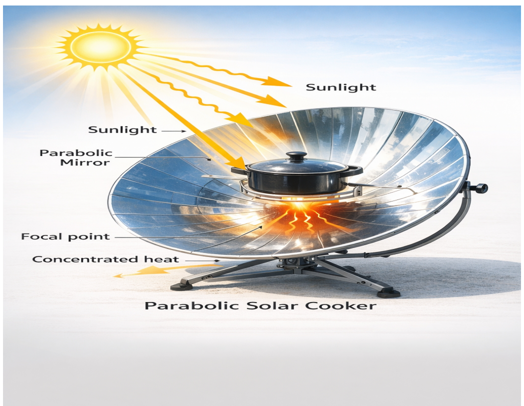


**شكل (3) صورة لنظام الضخ الشمسي**



**شكل(4) نموذج توضيحي للضخ بالطاقة الشمسية**

**3.الطباخ الشمسي :-** هو جهاز يقوم بتحويل طاقة الاشعاع الشمسي الى طاقة حرارية تستخدم لطهي الطعام له أنواع عده طباخ الصندوق طباخ المكافئ طباخ الأنبوبة مبدأ عمله يعتمد على تركيز أشعة الشمس من خلال أسطح عاكسه مرايا او المنيوم وامتصاص الحرارة باستخدام أواني داكنة وحبس الحرارة داخل صندوق أو القدر عبر عزل جيد .




**شكل(5) صورة توضيحية للطباخ الشمسي**



**شكل(6) صورة للطباخ الشمسي**

**4. الألواح الشمسية العائمة :-** هي ألواح شمسية كهروضوئية يتم استخدامها فوق

المسطحات المائية البحيرات أو البحار لانتاج الطاقة الكهربائية وتتميز هذه الألواح وهذه التقنية بانها تعمل بكفاءة أكثر من الأنظمة التي يوقف فيها ألواح كهربائية على الأرض بسبب عامل تبريد الماء حيث تعمل الألواح الكهروضوئية بكفاءة عالية أكثر كما أنها توفر المساحات.

ونشير لوجود تطبيقات كثيرة لاستخدامات الطاقة الشمسية حيث ان الطاقة الشمسية أوجدت حلول مبتكرة تحاكي نمط حياتنا و متطلباتنا الحياتية.



**شكل(7) صورة الألواح الشمسية العائمة**

## للمناقشة

**أذكر تطبيقات اخرى لاستخدامات الطاقة الشمسية ؟**

**من خلال ما تم دراسته من تطبيقات لاستخدامات الطاقة الشمسية حدد كل تطبيق ينتمي الي اي نوع من أنواع الطاقة الشمسية ؟**

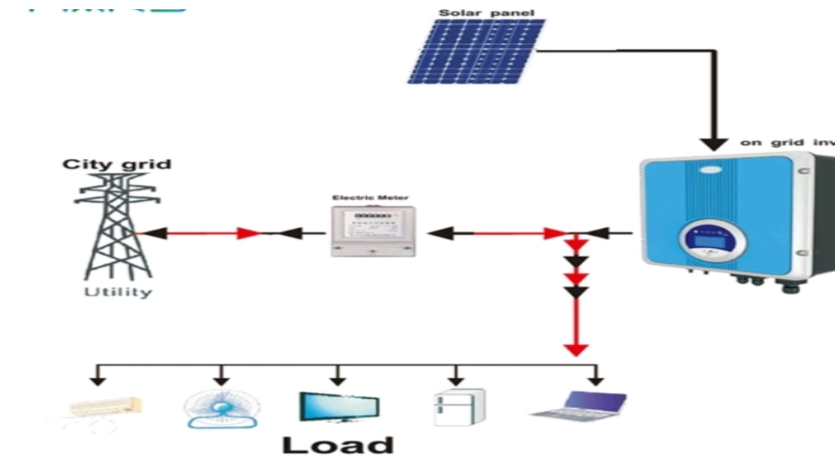
**أهمية الطاقة الشمسية ومقارنتها بالطاقة الكهربائية التقليدية ؟**

# أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية

## الأنظمة الكهروضوئية

### 1.النظام المتصل بالشبكة On grid

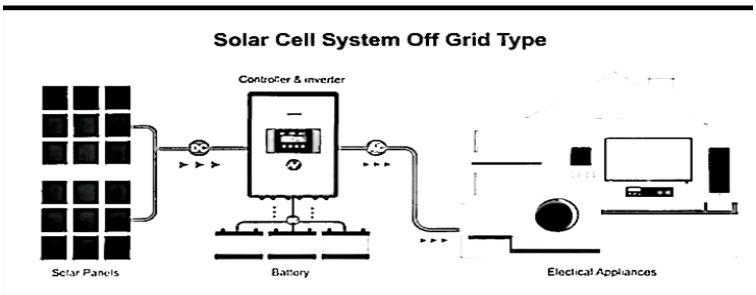
تُنتج الطاقة عند توفر شبكة الكهرباء (كما هو الحال في عدادات المنشآت الكهربائية)، وتساهم هذه الأنظمة في تقليل الاستهلاك الكهربائي. كما يمكنها تصدير الطاقة الزائدة إلى شبكة الكهرباء لاستخدامها في الشهور المقبلة أو بيعها لمحطات توليد الكهرباء ضمن عقود طويلة الأجل. وبذلك، يمكن اعتبار شبكة الكهرباء بمثابة بطارية غير مباشرة.




**شكل(8) صورة توضيحية لنظام المتصل بالشبكة on grid**

### 2.النظام المنفصل عن الشبكة Off grid

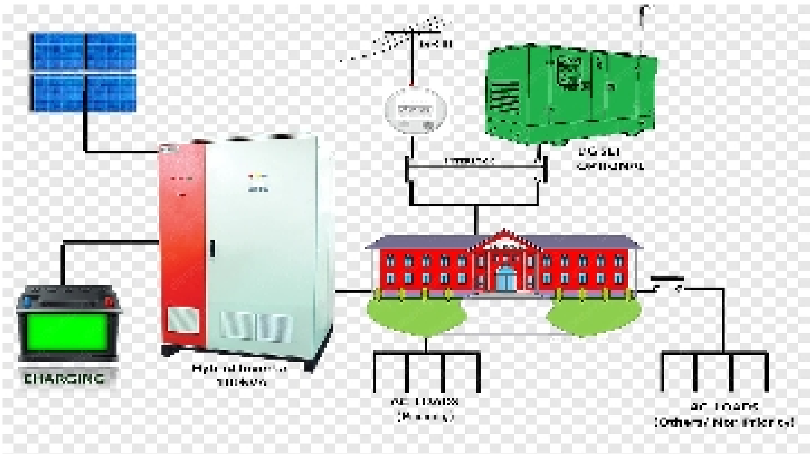
تُعد هذه الأنظمة مستقلة تمامًا ومكتفية ذاتيًا، حيث توفر 100٪ من احتياجات الطاقة على مدار اليوم. وغالبًا ما تُستخدم في المناطق النائية البعيدة عن شبكة الكهرباء الحكومية، وكذلك في التطبيقات التي تعتمد على المولدات الكهربائية التي تعمل بالديزل.




شكل(9) نموذج توضيجي لنظا المكفصل عك الشبكة off grid

## 3.النظام الهجين Hiypred

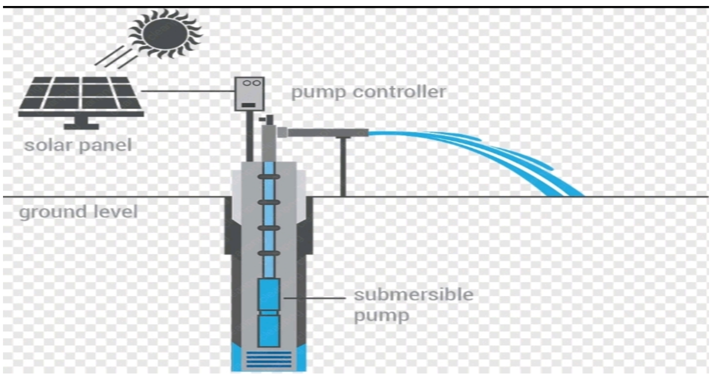
يجمع النظام الشمسي الهجين بين مزايا الأنظمة المتصلة بالشبكة وتلك المستقلة، حيث يتيح لك تخزين الطاقة الشمسية في البطاريات لاستخدامها عند انقطاع شبكة الكهرباء العمومية. كما يمكن أن يتكون هذا النظام من محطات شمسية لإنتاج الكهرباء نهارًا، بينما يُعتمد على المولدات في الليل بدلًا من البطاريات عند الأحمال الكبيرة. ويُعد هذا النوع من المحطات الهجينة حلاً اقتصاديًا، إذ يقلل من استهلاك الوقود المستخدم لتشغيل المولدات بنسبة تصل إلى 60٪، ويحد من الاعتماد على المولد بشكل مباشر، مما يزيد من العمر التشغيلي له ويقلل أعمال الصيانة. كما أن هذه المحطات لا تحتاج إلى بطاريات للتخزين نتيجة الدمج بين الأنظمة الشمسية والمولدات.




**شكل(10) صورة توضيحية للكظام الهجين اHiypred**

## 4.نظام الضخ الشمسي للزراعة والري

تُعد أنظمة الطاقة الشمسية للزراعة والري أنظمة مستقلة تمامًا عن شبكة الكهرباء، حيث تقوم بتشغيل جميع أنواع المضخات بشكل مباشر نهارًا، بما في ذلك المضخات الغاطسة والسطحية. وتعتبر هذه الأنظمة بديلاً فعالًا لمولدات الديزل التقليدية في تشغيل أنظمة الري بالمزارع.




**شكل(11) صورة توضيحية لنظام ضخ شمسي**

# الألواح الشمسية

## مكونات الخلايا الشمسية

تتكون الخلية الشمسية من عدة طبقات ومواد رئيسية:

طبقة زجاجية مقاومة للانعكاس.

أسلاك نحاسية موصلة للكهرباء.

طبقة N-Type (سالبة) تحتوي على إلكترونات كثيرة.

طبقة P-Type (موجبة) تحتوي على ثقوب (فجوات).

منطقة الاستنزاف (enDepletion Zo) بين الطبقتين.

توليد الكهرباء من الخلايا الشمسية

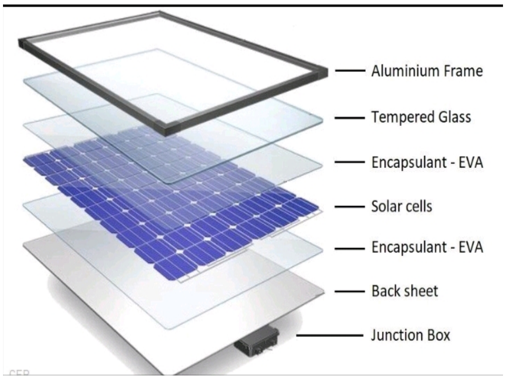
عند تعرض الخلية الشمسية لضوء الشمس (الفوتونات):

يمر الضوء عبر طبقة الزجاج ويصل إلى أشباه الموصلات.

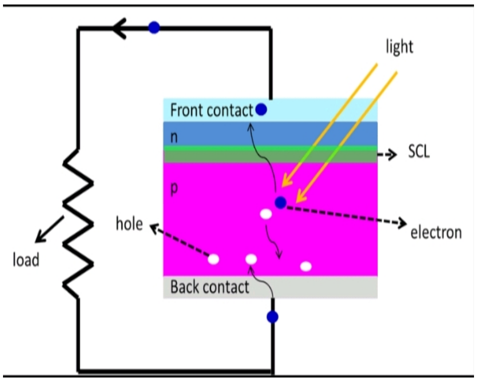
تمتص أشباه الموصلات الفوتونات وتتحرك الإلكترونات.

الطبقة السالبة (N-Type) تنتقل إلكتروناتها عبر الأسلاك النحاسية نحو الحمل الكهربائي.

الإلكترونات تتجه إلى الطبقة الموجبة (P-Type) نتيجة وجود الفجوات، فيتولد التيار الكهربائي.




شكل (12) صورة توضيحية لمكونات اللوح الكهروضوئي




شكل(13)صوره توضيحية لكيفية توليد الكهرباء في اللوح

## تجميع الخلايا الشمسية

كل خلية تنتج كمية محدودة من الكهرباء، لذا يتم توصيل عدة خلايا معًا لتكوين لوحة شمسية.

على الرغم من أن اللوحة تُعامل كوحدة واحدة، إلا أن كل خلية تعمل بشكل مستقل.

## أنواع الألواح الشمسية

### 1. الأحادية Monocrystalline Silicon

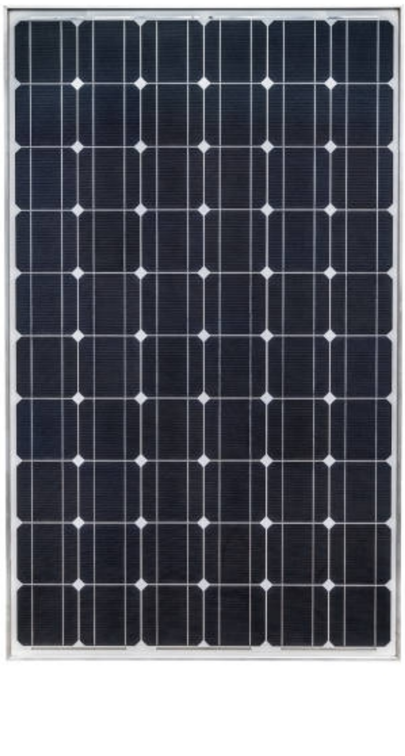
مظهر متناسق يدل على نقاء الكريستالات.

الخلايا مصنوعة من سبائك السيليكون المقطوعة إلى شرائح.

كفاءة مختبرية تصل إلى 22.5٪، والكفاءة الفعلية تجاريًا حوالي 17.5٪.

العمر الافتراضي: 25 سنة أو أكثر.

تعتبر الأغلى ثمناً.



**شكل(14) لوح أحادي Monocrystalline Silicon**

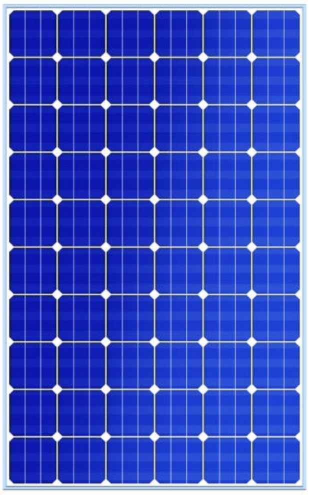
## 2.متعددة الكريستالات Polycrystalline Silicon

الخلايا مربعة ومتراصة، شكلها أقل جمالية من الأحادية.

كفاءة حوالي 16.9٪.

العمر الافتراضي: 25 سنة أو أكثر.

ثمنها أقل من الألواح الأحادية.



**شكل(15) لوحمتعدد الكريستالات Polycrystalline Silicon**

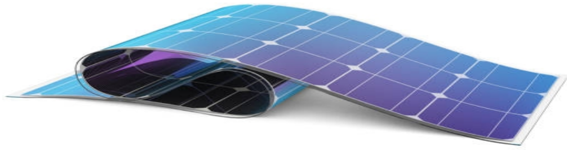
## 3.الرقيقة Thin Film

رقيقة وانسيابية، تأخذ شكل السطح المثبتة عليه.

صالحة لتطبيقات مثل أسطح المراكب وسيارات النقل.

كفاءتها أقل من 12٪، وعمرها الافتراضي حوالي 15 سنة فقط.

أغلى نوع إذا حسبنا السعر بالنسبة لعمرها القصير.



**شكل(16) لوح رقيق Thin Film**

# توصيل مصفوفة الألواح الشمسية

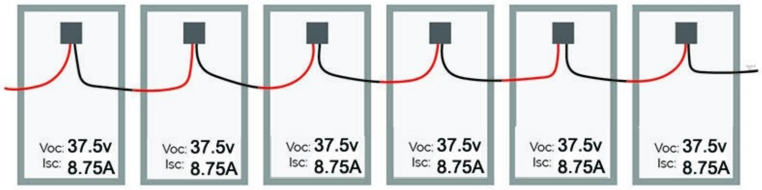
تتكون المصفوفة من عدة ألواح متصلة لتوفير الجهد والتيار المطلوبين.

## 1. التوصيل على التوالي (Series)

ربط الموجب (+) للوح مع السالب (-) للوح التالي.

الجهد يتضاعف، والتيار يظل ثابتًا.

مثال: توصيل 6 ألواح كل واحدة Voc = 37.5V، Isc = 8.75A




جهد المصفوفة 225V و التيار 8,75A

## 2. التوصيل على التوازي (Parallel)

ربط جميع الموجب مع بعضهم والسالب مع بعضهم.

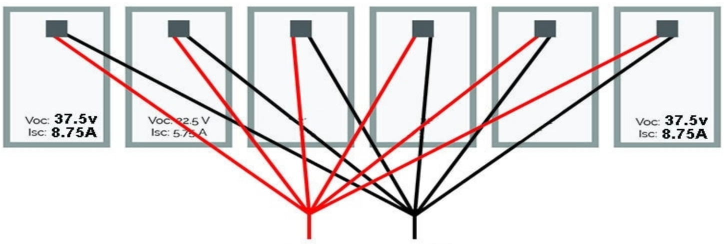
الجهد يظل ثابتًا، والتيار يتضاعف.

مثال: 6 ألواح كل واحدة Voc = 37.5V، Isc = 8.75A

الجهد الكلي = 37.5V

التيا

إذا




اسية للتجميع.

جهد المصفوفة 37.5V و تيار 52.5A

## 3. التوصيل المختلط (Series & Parallel)

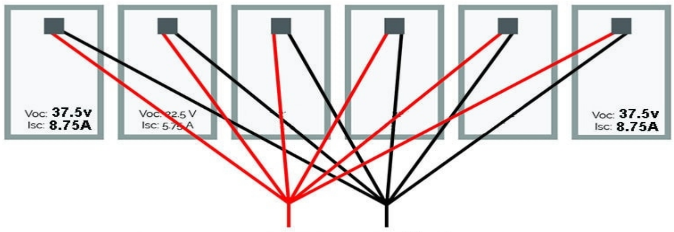
توصيل عدة ألواح على التوالي، ثم توصيل خطوط متعددة على التوازي.

مثال: 6 ألواح، 3 على التوالي وخطين متوازيين:

الجهد الكلي = 37.5 × 3 = 112.5V

التيار الكلي = 8.75 × 2 = 17.5A

مناسبة لتغذية منظمات شحن بمدخل PV in بجهد أقصى 112.5V




جهد المصفوفة 37.5V و تيار 52.5A

## منظم الشحن (Charge Controller)

في أنظمة الطاقة الشمسية، وخصوصًا الأنظمة التي تحتوي على بطاريات Off-Grid وHybrid، يُعد منظم الشحن أحد أهم المكونات الأساسية التي تحمي البطاريات وتنظّم عملية انتقال الطاقة من الألواح الشمسية إليها

منظم الشحن هو جهاز إلكتروني يُركّب بين الألواح الشمسية والبطاريات، وظيفته الأساسية تنظيم الجهد والتيار القادمين من الألواح قبل دخولهما إلى البطارية، لمنع الشحن الزائد أو التفريغ العميق.

بمعنى أبسط:

هو "حارس البطارية" الذي يتحكم بعملية الشحن ويحافظ على عمرها التشغيلي.

## وظيفة منظم الشحن

1.تنظيم عملية الشحن الألواح الشمسية قد تعطي جهدًا أعلى من الجهد الذي تتحمله البطارية.

2.يخفض الجهد إذا كان مرتفعًا

3.يضبط التيار

4.يوقف الشحن عند امتلاء البطارية

5.منع الشحن الزائد (Overcharging) إذا استمرت البطارية بالشحن بعد الامتلاء:

ترتفع حرارتها

تتلف خلاياها

يقل عمرها بشكل كبير

المنظم يفصل التيار تلقائيًا عند الوصول لجهد الامتلاء المحدد.

6.منع التفريغ العميق (Deep Discharge)

عند انخفاض جهد البطارية لمستوى خطير:

يقوم المنظم بفصل الأحمال

يحمي البطارية من التلف

7.منع رجوع التيار ليلاً في الليل، قد يعود التيار من البطارية إلى الألواح.

8,المنظم يحتوي على دايود حماية يمنع رجوع التيار.

## أنواع منظمات الشحن

# PWM (Pulse Width Modulation)

أبسط وأرخص نوع

مناسب للأنظمة الصغيرة

كفاءته أقل

يشترط أن يكون جهد الألواح قريبًا من جهد البطارية

يُستخدم غالبًا في أنظمة 12V و24V الصغيرة.

# MPPT (Maximum Power Point Tracking)

أكثر تطورًا وكفاءة

يستخرج أقصى قدرة ممكنة من الألواح

يسمح باستخدام جهد ألواح أعلى من جهد البطارية

يرفع كفاءة النظام بنسبة قد تصل إلى 20–30%

مثالي للأنظمة المتوسطة والكبيرة.

## الفرق بين PWM و MPPT باختصار

| MPPT | PWM | |
|---|---|---|
| **أعلى** | **أقل** | **الكفاءة** |
| **أغلى** | **أرخص** | **السعر** |
| **كامل** | **محدود** | **استغلال قدرة اللوح** |
| **أنظمة متوسطة وكبيرة** | **أنظمة صغيرة** | **مناسب لـ** |

**جدول(1) الفرق بين PWM و MPPT**

## استخدامات منظم الشحن في أنظمة الطاقة الشمسية

1.أنظمة الطاقة الشمسية Off-Grid

2.أنظمة Hybrid التي تحتوي على بطاريات

3.أنظمة ضخ المياه بالطاقة الشمسية (عند وجود بطاريات)

أما أنظمة On-Grid فلا تحتاج منظم شحن منفصل لأن الإنفرتر يتولى إدارة الجهد.

منظم الشحن عنصر أساسي في أي نظام شمسي يحتوي على بطاريات، لأنه المسؤول عن حماية البطارية وتنظيم عملية الشحن والتفريغ. اختيار النوع المناسب PWM أو MPPT يعتمد على حجم النظام، نوع البطارية، وقدرة الألواح

# الانفرتر/العاكس في أنظمة الطاقة الشمسية

## النظام المتصل بالشبكة (On-Grid)

وظيفة الانفرتر هنا تحويل الكهرباء المستمرة (DC) القادمة من الألواح الشمسية إلى كهرباء مترددة (AC) متوافقة مع شبكة الكهرباء. التيار الخارج يكون 220 فولت أحادي الطور للمقاسات الصغيرة (<5 كيلو واط)، و380 فولت ثلاثي الطور للمقاسات الكبيرة (>5 كيلو واط).

الانفرتر المتصل بالشبكة يفصل تلقائيًا عند انقطاع التيار لحماية العمال أثناء صيانة الشبكة، ولا يمكن استخدام كهرباء الألواح عند الانقطاع. يقوم الانفرتر بمزامنة تردد التيار الخارج مع تردد الشبكة وضبط الجهد ليصبح مطابقًا للكهرباء العمومية، ويخرج تيارًا موجيًا نقيًا (Pure Sine Wave). أغلب الأنواع الحديثة عالية التردد (High Frequency) لتجنب الملفات النحاسية الثقيلة.

## النظام المستقل عن الشبكة (Off-Grid)

في هذا النظام، الانفرتر يحوّل الكهرباء من الألواح أو البطاريات لتشغيل الأجهزة مباشرة بدون الاعتماد على الشبكة. بعض الانفرترات تأتي مع منظم شحن داخلي، والتيار الخارج قد يكون موجة جيبية معدلة أو نقية حسب النوع.

جهد البطاريات يعتمد على قدرة الانفرتر، ويصل من 12 فولت للأنفرترات الصغيرة حتى 600 فولت للأنفرترات الكبيرة. يمكن توصيل البطاريات على التوالي أو التوازي لتلبية متطلبات الحمل ومدة التشغيل. الانفرتر يحمي نفسه والأجهزة من زيادة الأحمال، انخفاض جهد البطارية، وارتفاع الحرارة، ويحتوي غالبًا على دعم UPS للتحويل التلقائي عند الانقطاع والعودة للكهرباء.

## النظام الهجين (Hybrid)

يجمع النظام الهجين بين ميزتي النظام المتصل والمستقل عن الشبكة. الانفرتر الهجين يمكنه استخدام الكهرباء من الألواح والبطاريات، وربط النظام بالشبكة، مع إمكانية ضخ الكهرباء الفائضة إلى الشبكة.

مثل النظام المتصل، يقوم الانفرتر بمزامنة الجهد والتردد مع الشبكة، لكنه لا ينطفئ عند الانقطاع، بل يستمر باستخدام الطاقة من الألواح والبطاريات. يمكن دمج مصدر احتياطي مثل مولد ديزل، ويتيح التحكم في الأولويات بين الألواح، البطاريات، والشبكة لتشغيل الأجهزة المهمة دون انقطاع.

## ملاحظات عامة:

جميع الانفرترات تتحكم في الجهد والتردد لضمان كهرباء مستقرة.

تحمي الأجهزة من الأحمال الزائدة، ارتفاع الحرارة، وانخفاض جهد البطارية.

في أنظمة الضخ الشمسية أو الهجينة، الانفرتر يتحكم بسرعة المحركات تدريجيًا من صفر حتى السرعة المطلوبة، ويستخدم وظيفة Soft Starter لتقليل تيار البدء العالي.

## أنواع البطاريات المستخدمة في أنظمة الطاقة الشمسية

تُستخدم عدة أنواع من البطاريات في أنظمة الطاقة الشمسية، ويختلف اختيار النوع المناسب حسب طبيعة النظام، السعة المطلوبة، الميزانية المتاحة، ومتطلبات الصيانة. فيما يلي أهم أنواع البطاريات مع مميزاتها وعيوبها:

# 1.بطاريات الرصاص الحمضية(Lead-Acid Batteries)

## المميزات:

1.تكلفة منخفضة نسبيًا مقارنة بالأنواع الأخرى.

2.تكنولوجيا قديمة ومجرّبة وموثوقة.

3.متوفرة بسهولة في الأسواق.

## العيوب:

1.عمر افتراضي قصير نسبيًا.

2.تحتاج إلى صيانة دورية.

3.وزنها ثقيل وحجمها كبير.

4.حساسة لعمليات التفريغ العميق المتكرر.

## 2. بطاريات الليثيوم أيون(Lithium-Ion Batteries)

**المميزات:**

1.كثافة طاقة عالية، أي تخزين طاقة أكبر بوزن أقل.

2.عمر افتراضي طويل.

3.تحتاج إلى صيانة قليلة جدًا.

4.كفاءة عالية في عمليات الشحن والتفريغ.

**العيوب:**

1.تكلفة مرتفعة نسبيًا.

2.تتطلب نظام إدارة بطاريات (BMS) متطور لضمان السلامة والأداء.

## 3.بطاريات النيكل كادميوم(Nickel-Cadmium Batteries)

**المميزات:**

1.عمر افتراضي طويل.

2.أداء ممتاز في درجات الحرارة المرتفعة والمنخفضة.

3.تتحمل التفريغ العميق دون تأثر كبير.

**العيوب:**

1.تحتوي على مادة الكادميوم السامة، مما يتطلب طرق خاصة للتخلص منها.

2.تكلفتها أعلى مقارنة ببطاريات الرصاص الحمضية.

## 4.بطاريات الجل(Gel Batteries)

**المميزات:**

1.لا تحتاج إلى صيانة.

2.أداء جيد في حالات التفريغ العميق.

3.مقاومة للصدمات والاهتزازات.

4.آمنة للاستخدام في أي وضعية.

**العيوب:**

1.أعلى تكلفة من بطاريات الرصاص الحمضية التقليدية.

2.حساسة لعمليات الشحن الزائد.

## 5.بطاريات AGM(Absorbent Glass Mat Batteries)

**المميزات:**

1.لا تحتاج إلى صيانة.

2.مقاومة للتسربات والصدمات.

3.كفاءة عالية في الشحن والتفريغ.

4.أداء جيد في درجات الحرارة المنخفضة.

**العيوب:**

1.أعلى تكلفة من بطاريات الرصاص الحمضية التقليدية.

2 .حساسة للشحن الزائد والتفريغ العميق المتكرر.

يعتمد اختيار البطارية المناسبة لأنظمة الطاقة الشمسية على عدة عوامل، أهمها السعة المطلوبة، الميزانية المتاحة، طبيعة الاستخدام، ومتطلبات الصيانة، مما يجعل فهم خصائص كل نوع أمرًا ضروريًا لضمان أداء النظام بكفاءة عالية وعمر تشغيلي أطول.

## هياكل تثبيت الألواح الشمسية

## طرق الترتيب والتثبيت والربط بين الألواح

يتكوّن النظام الشمسي بشكل أساسي من الألواح الشمسية، العاكس (Inverter)، وفي بعض الأنظمة البطاريات، ولكن لا يقتصر نجاح النظام على اختيار هذه المكونات فقط، بل يعتمد بشكل كبير على طريقة ترتيب الألواح وتثبيتها وربطها ببعضها البعض.

لتحقيق أفضل أداء للنظام الشمسي، يجب استخدام هياكل تثبيت مناسبة تضمن توجيه الألواح بالزاوية والاتجاه الصحيحين، وتوفر لها الثبات والحماية خلال مختلف الظروف الجوية.

## ما هي هياكل تثبيت الألواح الشمسية وما أهميتها؟

هياكل تثبيت الألواح الشمسية هي أنظمة إنشائية مصمّمة خصيصًا لحمل الألواح الشمسية وتثبيتها في الموقع المناسب وبالزاوية المثلى، وغالبًا ما يتم توجيه الألواح باتجاه الجنوب لتحقيق أعلى استفادة من الإشعاع الشمسي.

تكمن أهمية هذه الهياكل في أنها:

1.توجّه الألواح في الاتجاه والارتفاع المناسبين.

2.تحافظ على الزاوية المثلى لزيادة إنتاج الطاقة.

3.تضمن ثبات الألواح واستقرارها في مواجهة الرياح والعوامل الجوية.

4.تحمي الألواح وتطيل عمرها التشغيلي.

## أنواع هياكل تثبيت الألواح الشمسية

يجب تحديد نوع الهيكل المستخدم أثناء مرحلة التصميم وليس بعد التركيب، ويعتمد ذلك على موقع النظام وطبيعة السطح والمساحة المتوفرة. وتنقسم الهياكل إلى عدة أنواع رئيسية:

# 1.هيكل التركيب على سطح السقف الخرساني(Reinforced Cement Concrete – RCC)

يُستخدم هذا النوع على أسطح المباني الخرسانية، ويُعد من أكثر الأنواع شيوعًا في الأنظمة المنزلية والتجارية.



**شكل(17) صورة هيكل التركيب على سطح السقف الخرساني**

## المزايا:

1.تكلفة تركيب منخفضة نسبيًا.

2.سهولة الصيانة والتنظيف.

3.استغلال المساحات غير المستخدمة فوق الأسطح.

**العيوب:**

1.يتطلب الحفر في الأسقف.

2.يحتاج إلى مساحات خالية تمامًا من الظلال.

3.صعوبة توسيع النظام مستقبلًا.\

## 2.هيكل التركيب على الأرض (Ground Mounted Structure)

يتم فيه تثبيت الألواح الشمسية مباشرة على الأرض، ويُستخدم عندما لا تتوفر مساحات مناسبة على الأسطح أو عند وجود ظلال.



**شكل(18) صورة هيكل تركيب على الأرض**

**المزايا:**

1.إنتاج طاقة أعلى بسبب سهولة ضبط الزوايا.

2.لا يتطلب أي تعديلات على المباني.

3.مناسب لتركيب أنظمة تتبع الشمس.

**العيوب:**

1.تكلفة تركيب مرتفعة.

2.عرضة للتخريب وتراكم الأوساخ.

3.يحتاج إلى مساحة أرض كبيرة.

## 3.هيكل التثبيت فوق مواقف السيارات(Carport Structures)

تشبه هذه الهياكل الهياكل الأرضية، ولكن يتم تثبيتها على ارتفاع يسمح بوقوف السيارات أسفلها.

تُستخدم هذه الأنظمة لتحويل مواقف السيارات إلى مصادر لإنتاج الطاقة النظيفة، ويمكن الاستفادة من الطاقة المنتجة في شحن المركبات الكهربائية.



**شكل(19) هيكل تثبيت فوق السيارات**

**المزايا:**

1.استغلال المساحات غير المستخدمة.

2.توفير وظيفة مزدوجة (توليد طاقة + مظلة سيارات).

3.سهولة الصيانة.

**العيوب:**

1.تكلفة تركيب مرتفعة.

2.تتطلب موافقات وتراخيص خاصة.

## (الهياكل السقفية) Metal Roof Structures

تُستخدم هذه الهياكل على الأسطح المعدنية مثل الهناجر والمستودعات والمصانع، بدلا من الأسطح الخرسانية.

تُعد شائعة في القطاعات التجارية والصناعية لتلبية احتياجات المنشآت من الطاقة.



**شكل(20) صورة لهيكل على السقف**

### المزايا:

1.تكلفة تركيب أقل مقارنة بالهياكل الأرضية.

سهولة الصيانة.

2.استغلال المساحات الفارغة فوق المنشآت.

### العيوب:

1.إنتاج الطاقة متوسط نسبيًا.

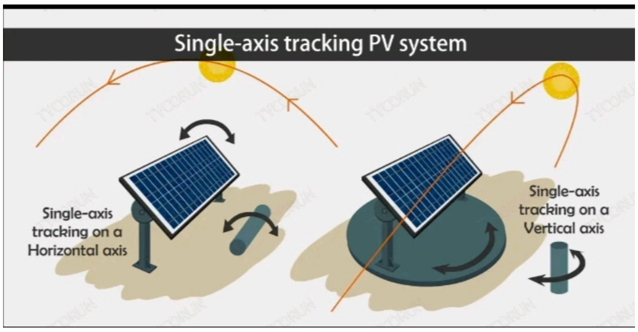
2.يشترط خلو السطح من الظلال.

## هياكل أنظمة التتبع الشمسي(Solar Tracking Systems)

تعمل هذه الهياكل على تتبع حركة الشمس وتوجيه الألواح تلقائيًا طوال اليوم لزيادة الإنتاج.

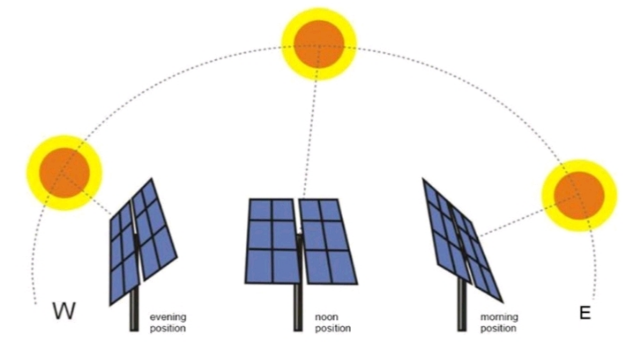
## أنواع أنظمة التتبع:

**1.أنظمة التتبع ذات المحور الواحد:** تتبع حركة الشمس من الشرق إلى الغرب.




**شكل(21) صورة توضيحية لنظام تتبع ذو مجور واحد**

**2.أنظمة التتبع ذات المحورين:** تتبع المسار اليومي والفصلي للشمس، وتُستخدم غالبًا في أنظمة الطاقة الشمسية المركزة (CSP).




**شكل(22) صورة توضيحية لنطام ذو محورين**

## المزايا:

1.زيادة إنتاج الطاقة.

2.تحقيق أقصى استفادة من المساحة المتاحة.

3.تقليل تأثير الظلال.

**العيوب:**

1.تكلفة تركيب مرتفعة.

2.تعقيد في التركيب والصيانة.

3.تحتاج إلى عناية إضافية لكونها متحركة.

## أهم العوامل التي يجب مراعاتها عند اختيار هيكل النظام الشمسي

### طبيعة المكان:

تحديد موقع التركيب ونوع السطح والتطبيقات التي سيغذيها النظام بالطاقة.

حجم النظام:

تحديد عدد الألواح، شكل الهيكل، وإمكانية التوسعة المستقبلية، مع مراعاة سهولة الصيانة والتنظيف.

### التكلفة:

دراسة الجدوى الاقتصادية واختيار الهيكل الذي يحقق التوازن بين الأداء والتكلفة.

تختلف هياكل تثبيت الألواح الشمسية باختلاف التطبيقات والمواقع، ويُعد اختيار الهيكل المناسب خطوة أساسية لنجاح النظام الشمسي.

يساهم التنوع في أنواع الهياكل في توفير مرونة كبيرة لتركيب الأنظمة الشمسية وزيادة الاستفادة من المساحات غير المستخدمة، سواء على أسطح المنازل، أو مواقف السيارات، أو أسقف المصانع والمنشآت الصناعية.

## كابلات الطاقة الشمسية

تُعد كابلات الطاقة الشمسية من المكونات الأساسية في أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية، حيث تلعب دورًا محوريًا في نقل الطاقة الكهربائية المولّدة من الألواح الشمسية إلى باقي مكونات النظام مثل أجهزة التحكم بالشحن، العواكس (Inverters)، وبطاريات التخزين.ونظرًا لعملها في ظروف بيئية قاسية، فقد تم تصميم كابلات الطاقة الشمسية بخصائص خاصة تختلف عن الكابلات الكهربائية التقليدية المستخدمة في التيار المتناوب.

## الخصائص الرئيسية لكابلات الطاقة الشمسية

تتميز كابلات الطاقة الشمسية بعدد من الخصائص التي تجعلها مناسبة للعمل في البيئات الخارجية ولمدد زمنية طويلة، ومن أهم هذه الخصائص:

## مقاومة الأشعة فوق البنفسجية (UV):

مصممة لتحمل التعرض المباشر والمستمر لأشعة الشمس دون أن يتدهور العزل أو تتأثر جودة الكابل.

## مقاومة درجات الحرارة العالية:

قادرة على تحمل درجات حرارة مرتفعة ناتجة عن أشعة الشمس المباشرة والتيارات الكهربائية المستمرة.

## مرونة عالية:

تسهّل عمليات التمديد والتركيب، خاصة في المسارات المعقدة أو الضيقة.

مقاومة العوامل البيئية:

مقاومة للرطوبة، الأوزون، الزيوت، والعوامل الجوية المختلفة، مما يجعلها مناسبة للاستخدام الخارجي.

## عزل كهربائي ممتاز:

يوفر مستوى عالٍ من الأمان ويمنع التسرب الكهربائي ويحمي مكونات النظام.

## مقاومة ميكانيكية جيدة:

تتحمل الضغط والصدمات، مما يضمن استمرارية العمل وعمرًا تشغيليًا أطول.

## أنواع كابلات الطاقة الشمسية

تنقسم كابلات الطاقة الشمسية حسب طبيعة استخدامها داخل النظام إلى الأنواع التالية:

## 1.كابلات التيار المستمر (DC Cables)

تُستخدم لنقل الطاقة من الألواح الشمسية إلى جهاز التحكم بالشحن أو العاكس.

تتحمل فولتية عالية وتيارات مستمرة لفترات طويلة.

## 2.كابلات التيار المتناوب (AC Cables)

تُستخدم بعد العاكس لنقل الطاقة المتناوبة إلى الأحمال أو شبكة الكهرباء.

تشبه كابلات AC التقليدية ولكن تُستخدم ضمن أنظمة الطاقة الشمسية.

## 3.كابلات الربط البيني

تُستخدم لربط الألواح الشمسية مع بعضها البعض على شكل سلاسل (Strings).

غالبًا تكون مزودة بوصلات خاصة مثل 4MC

## استخدامات كابلات الطاقة الشمسية

تُستخدم كابلات الطاقة الشمسية في عدة تطبيقات، من أبرزها:

1.توصيل الألواح الشمسية بالعواكس وبطاريات التخزين.

2.أنظمة الطاقة الشمسية المنزلية لتوزيع الطاقة على الأحمال.

3.المشاريع الشمسية التجارية والصناعية ومحطات الطاقة الكبيرة.

## الفرق بين كابلات الطاقة الشمسية والكابلات العادية (AC)

تختلف كابلات الطاقة الشمسية عن الكابلات الكهربائية العادية الخاصة بالتيار المتناوب في عدة جوانب رئيسية، كما يلي:

## أولًا: المواد والتصميم

## كابلات الطاقة الشمسية:

1.مقاومة للأشعة فوق البنفسجية.

2.تتحمل درجات حرارة عالية (قد تصل إلى 90° مئوية أو أكثر).

3.مرنة وسهلة التركيب.

4.مقاومة للعوامل البيئية المختلفة.

## الكابلات العادية للتيار المتناوب:

1.غالبًا مصممة للاستخدام الداخلي.

2.مقاومة محدودة للأشعة فوق البنفسجية والحرارة العالية.

3.مواد عزل عادية غير مخصصة للبيئات الخارجية القاسية.

## ثانيًا: الاستخدام والتطبيقات

## كابلات الطاقة الشمسية:

1.مصممة لنقل التيار المستمر (DC).

2.تستخدم في ربط الألواح الشمسية ومكونات النظام.

3.مخصصة لأنظمة الطاقة الشمسية بمختلف أحجامها.

## الكابلات العادية للتيار المتناوب:

1.تستخدم لنقل التيار المتناوب (AC).

2.تستعمل في التمديدات الكهربائية المنزلية والصناعية.

3.غالبًا تُستخدم داخل المباني والمنشآت المحمية.

## ثالثًا: السلامة والمعايير

## كابلات الطاقة الشمسية:

1.تخضع لمعايير خاصة مثل:

IEC 62930 – UL 4703

2.توفر عزلًا عالي الجودة لتحمل الفولتية العالية والتيارات المستمرة.

## الكابلات العادية للتيار المتناوب:

1.تخضع لمعايير مختلفة مثل:

IEC 60227 – IEC 60502

2.عزل مناسب للتيارات المتناوبة والاستخدام الداخلي.

## رابعًا: التحمل والأداء

## كابلات الطاقة الشمسية:

1.تتحمل أحمالًا كهربائية عالية بشكل مستمر.

2.أداء مستقر في الظروف البيئية القاسية.

## الكابلات العادية للتيار المتناوب:

1.مصممة لتحمل أحمال متوسطة.

2.أداؤها أفضل في البيئات الداخلية المحمية.

حساب السلك في أنظمة الطاقة الشمسية – خطوات عملية

## تحديد طول السلك

طول السلك = المسافة بين المصدر (الألواح الشمسية) والحمل (إنفرتر أو بطاريات).

ملاحظة: يجب احتساب ذهاب وعودة السلك، أي:

تحديد فرق الجهد المسموح

عادة ≤ 3% من جهد النظام.

مثال: نظام 12 فولت ← فرق الجهد المسموح = 0.36 فولت.

## حساب المقاومة المسموح بها للسلك

المقاومة = فرق الجهد المسموح ÷ التيار المار بالسلك.

## مثال تطبيقي

فرق الجهد 0.36 فولت، التيار 10 أمبير → المقاومة المسموح بها = 0.36 ÷ 10 = 0.036 أوم.

## حساب مساحة المقطع العرضي للسلك

مساحة المقطع = (المقاومة النوعية × الطول الكلي) ÷ المقاومة المسموح بها

## مثال تطبيقي

المقاومة النوعية للنحاس ≈ 0.0178 أوم × ملم$^2$

الطول الكلي = 30 متر، المقاومة المسموح بها = 0.036 أوم →

مساحة المقطع = 0.0178 × 30 ÷ 0.036 ≈ 14.83 ملم$^2$

النتيجة العملية: اختر سلك ≈ 16 ملم$^2$

**جدول اختيار مقطع الأسلاك جهد والتيار وطول السلك**

| مقطع المقلع (mm$^2$) | الطول القلي (m) | طول نقاب نقط (m$^3$ ) | التبار (A) | (mm$^2$)) |
|---|---|---|---|---|
| 1.5 | 10 | 5 | 5 | 12 |
| 2.5 | 20 | 10 | 5 | |
| 4 | 20 | 10 | 12 | |
| 16 | 15 | 10 | 10 | |
| 6 | 20 | 10 | 15 | |
| 1.5 | 20 | 10 | 5 | 24 |
| 1.5 | 20 | 10 | 5 | |
| 2.5 | 20 | 10 | 10 | |
| 4 | 20 | 10 | 10 | |
| 6 | 20 | 10 | 15 | |
| 1.5 | 20 | 10 | 5 | 48 |
| 1.5 | 20 | 10 | 5 | |
| 2.5 | 20 | 10 | 10 | |
| 2.5 | 20 | 10 | 10 | |
| 6 | 20 | 10 | 15 | |
| 4 | 30 | 15 | 15 | |
| 6 | 40 | 20 | 20 | |
| 10 | 40 | 20 | 20 | |

- المقاطع مقترحة لقتيل فقد الجهد ≤ % بسنحدام أسلك نحاسية عالية الجودة.
- الطول الكلي = نفاب + عودة.
- لحللات الطول الأكبر بكن بمكن زيادة المقطع مير $A = \rho \frac{L_{toal}}{R_{allowed}}$
- تحقق د آتحاً من ونوعية الأسلاك عند الد التيبيت الخارجي.

شكل(23) اختيار مقطع الأسلاك جهد وتيار وطول السلك

## الملاحظات العملية

كلما زاد طول السلك أو التيار، زاد المقطع المطلوب.

استخدم أسلاك نحاسية عالية الجودة وعازلة للحرارة والشمس.

بعد الحساب، أضف صورة الجدول النهائي كمرجع سريع لكل الجهود والتيارات المختلفة.

كابلات الطاقة الشمسية ليست مجرد كابلات عادية، بل هي عنصر أساسي مصمم خصيصًا لتلبية متطلبات أنظمة الطاقة الشمسية من حيث الأمان، الكفاءة، والاستدامة.

ويُعد اختيار الكابل المناسب وفق المعايير الصحيحة خطوة حاسمة لضمان كفاءة النظام الشمسي، تقليل الفاقد، والحفاظ على سلامة جميع مكوناته على المدى الطويل.

## أنواع موصلات الطاقة الشمسية

عند تصميم وتنفيذ نظام طاقة شمسية، يُعد اختيار موصلات الألواح الشمسية من الأمور الأساسية لضمان كفاءة النظام وسلامته واستمرارية عمله. تختلف أنواع الموصلات من حيث التصميم، القدرة على تحمل التيار والجهد، ومقاومة العوامل البيئية، ولكل نوع استخداماته الخاصة.

فيما يلي أشهر أنواع موصلات الطاقة الشمسية المستخدمة في الأنظمة الكهروضوئية:

## 1.موصل MC4

## المواصفات والخصائص

يُعد موصل MC4 الموصل الأكثر استخدامًا وانتشارًا في أنظمة الطاقة الشمسية الحديثة، وهو المعيار الصناعي المعتمد في معظم التركيبات.

يرمز اسم MC4 (Multi-Contact – قطر دبوس 4 مم)



شكل(24) وصلة MC4

## يتميز هذا الموصل بما يلي:

1.تصميم بآلية قفل محكمة تمنع الفصل غير المقصود.

2.مقاومة عالية للأشعة فوق البنفسجية.

3.تصنيف حماية مرتفع (IP) ضد الغبار والماء.

4.متوفر بتكوين ذكر وأنثى لتسهيل الربط بين الألواح.

5.مناسب للاستخدام الخارجي طويل الأمد.

## المزايا والقيود

## المزايا:

1.اتصال آمن وموثوق.

2.يتحمل تيارات وجهود عالية.

3.متوافق مع معظم الألواح والأنظمة الحديثة.

## القيود:

1.يتطلب أداة خاصة للفصل والتركيب.

2.أقل مرونة في التعديلات السريعة.

## 2.موصل MC3

## المواصفات والخصائص

يُعتبر موصل MC3إصدارًا أقدم من موصل MC4ويتميز بتصميم أبسط دون آلية القفل المتقدمة.



شكل(25) وصلة MC3

## من خصائصه:

1.حجم أصغر ووزن أخف.

2.مقاوم للعوامل الجوية بدرجة محدودة.

3.قدرة أقل على تحمل التيار مقارنة بـ MC4.

## المزايا والقيود

## المزايا:

1.سهل التركيب ولا يحتاج إلى أدوات خاصة.

2.مناسب للأنظمة الصغيرة أو المؤقتة.

### القيود:

1.عدم وجود آلية قفل يزيد من احتمال الفصل العرضي.

2.محدود التوافق مع الأنظمة الحديثة.

3.أصبح قليل الاستخدام في المشاريع الجديدة.

## 3.موصل H4 Helios

## المواصفات والخصائص

يُعد موصل H4Helios بديلاً مباشرًا لموصل MC4، ويشترك معه في العديد من الخصائص التقنية.



**شكل(26) وصلة H4 Helios**

## من أبرز مواصفاته:

1.مقاومة عالية للأشعة فوق البنفسجية والعوامل الجوية.

2.تصنيف IP مرتفع.

3.نظام قفل محكم.

4.متوافق ميكانيكيًا وكهربائيًا مع موصل MC4

## المزايا والقيود

### المزايا:

1.موثوقية عالية ومتانة ممتازة.

2.إمكانية استخدامه مع موصلات MC4 في بعض الأنظمة.

### القيود:

1.يتطلب أدوات خاصة للفصل والتركيب.

2.أقل انتشارًا مقارنة بـ MC4.

# 4.موصل SolarLok

## المواصفات والخصائص

تم تصميم موصل SolarLok لتوفير اتصال فعّال وسهل في أنظمة الطاقة الشمسية، ويتميز بتصميمه المضغوط.



**شكل(27) صورة وصلة SolarLok**

### من خصائصه:

1.تصنيف حماية IP 67 ضد الغبار والماء.

2.مقاومة للأشعة فوق البنفسجية والرطوبة.

3.يدعم تيارات وجهود عالية.

4.مناسب للأنظمة السكنية والتجارية.

## المزايا والقيود

### المزايا:

1.سهولة التركيب دون الحاجة إلى أدوات خاصة.

2.يقلل من زمن التركيب والصيانة.

3.اتصال آمن ومستقر.

### القيود:

1.محدود الانتشار مقارنة ب MC4

2.صعوبة إيجاد مكونات متوافقة في بعض الأسواق.

## 5.موصل Radox

### المواصفات والخصائص

يُستخدم موصل Radox في التطبيقات الصناعية والأنظمة الكبيرة التي تعمل في ظروف قاسية.



شكل(28) صورة وصلة

## من أبرز خصائصه:

1.مقاومة عالية لدرجات الحرارة المرتفعة.

2 مقاومة للهب والمواد الكيميائية.

3.متانة ميكانيكية عالية.

4.تصنيف IP مرتفع للحماية من الغبار والماء.

5.تصميم مدمج مناسب للمساحات الضيقة.

## المزايا والقيود

## المزايا:

1.أداء ممتاز في البيئات الصناعية القاسية.

2.عمر تشغيلي طويل.

3.مناسب للمشاريع الكبيرة والمحطات الشمسية.

## القيود:

1.أقل مرونة للاستخدامات السكنية.

2.قد يتطلب خبرة أو أدوات خاصة للتركيب.

3.تكلفة أعلى مقارنة بالموصلات الشائعة.

يُعد اختيار موصلات الطاقة الشمسية المناسبة عنصرًا أساسيًا في تصميم أي نظام شمسي ناجح. ويُعتبر موصلMC4 الخيار الأكثر شيوعًا واعتمادًا في معظم الأنظمة، في حين تُستخدم الموصلات الأخرى حسب طبيعة المشروع، حجم النظام، والظروف البيئية المحيطة.

## الاختيار الصحيح للموصل:

1.يضمن سلامة النظام

2.يقلل الفاقد الكهربائي

3.يطيل العمر التشغيلي لمكونات النظام

# أنظمة الطاقة الشمسية الحرارية

## الأنظمة الحرارية

## أنظمة تسخين المياه بالطاقة الشمسية

تُعد أنظمة تسخين المياه بالطاقة الشمسية من أهم التطبيقات العملية للطاقة الشمسية، نظرًا لاعتمادها على مبدأ بسيط وكفاءة تشغيلية مرتفعة، إضافةً إلى انخفاض تكاليف التشغيل على المدى الطويل. ويمكن تصنيف هذه الأنظمة إلى نوعين رئيسيين: أنظمة نشطة، وأنظمة غير نشطة (سلبية).

## الأنظمة النشطة لتسخين المياه بالطاقة الشمسية

## Active Solar Water Heating Systems

هي الأنظمة التي تعتمد على مضخات كهربائية لتحريك المياه أو سائل نقل الحرارة بين المجمعات الشمسية وخزان التخزين. ويُتحكم في عملها عادةً من خلال وحدة تحكم إلكترونية لضمان التشغيل عند توفر الإشعاع الشمسي المناسب.

وتنقسم إلى نوعين رئيسيين:

## 1. نظام الدوران المباشرDirect Circulation Systems

في هذا النظام يتم ضخ المياه نفسها إلى داخل المجمعات الشمسية، حيث يتم تسخينها مباشرة بفعل امتصاص الإشعاع الشمسي، ثم تُعاد إلى خزان التخزين أو إلى نقاط الاستهلاك.

يُستخدم هذا النظام في المناطق ذات المناخ المعتدل التي لا تتعرض لدرجات حرارة منخفضة تؤدي إلى تجمد المياه، مثل معظم الدول العربية.

## الخصائص الفنية:

1.تصميم بسيط نسبيًا.

2.كفاءة حرارية جيدة في المناخ الدافئ.

3.تكلفة تركيب وصيانة أقل مقارنة بالنظام غير المباشر.

4.غير مناسب للبيئات المعرضة للتجمد.

## 2.نظام الدوران غير المباشرIndirect Circulation Systems

يستخدم هذا النظام في المناطق الباردة. يعتمد على ضخ سائل ناقل للحرارة (غالبًا خليط مانع للتجمد) داخل المجمعات الشمسية، حيث يكتسب الحرارة، ثم ينقلها إلى المياه عبر مبادل حراري داخل خزان التخزين.

### الخصائص الفنية:

1.حماية النظام من خطر تجمد المياه داخل المجمعات.

2.زيادة عمر المكونات في البيئات الباردة.

3.تكلفة أعلى نسبيًا نتيجة استخدام مبادل حراري ومائع خاص.

## الأنظمة غير النشطة (السلبية) Passive Solar Water Heating Systems

لا تعتمد هذه الأنظمة على مضخات كهربائية، بل تعمل وفق مبدأ الحمل الحراري الطبيعي (Natural Convection)، حيث ترتفع المياه الساخنة إلى الأعلى نتيجة انخفاض كثافتها، بينما تهبط المياه الباردة إلى الأسفل.

وتنقسم إلى نوعين:

## 1. النظام المتكامل غير النشطIntegrated Collector Storage

يكون المجمع الشمسي وخزان التخزين مدمجين في وحدة واحدة، ما يجعله بسيط التصميم وأقل تكلفة، إلا أن كفاءته الحرارية تتأثر بانخفاض درجات الحرارة الخارجية.

## 2. نظام الثرموسيفونThermosyphon System

يعتمد على فرق الكثافة بين الماء الساخن والبارد لتحريك المياه دون الحاجة إلى مضخة. يُوضع خزان المياه في مستوى أعلى من المجمع الشمسي لضمان حركة الدوران الطبيعية.

### مميزاته:

1.لا يحتاج إلى طاقة كهربائية للتشغيل.

2.اعتمادية عالية لقلة الأجزاء المتحركة.

3.كفاءة تشغيل جيدة في المناخ المعتدل.

## عيوبه:

1.وزن مرتفع بسبب موقع الخزان أعلى السطح.

2.ضرورة التأكد من قدرة السطح الإنشائية على تحمل الحمل.

## السخانات الشمسية وأنواعها

بعد التعرف على أنظمة التشغيل، يمكن تصنيف السخانات الشمسية وفق نوع المجمع الشمسي المستخدم.

## السخان الشمسي ذو اللوح المسطحFlat Plate Collector

يُعد من أكثر الأنواع انتشارًا في الاستخدامات المنزلية والتجارية.

مبدأ العمل

يتكون من لوح امتصاص مسطح مصنوع من النحاس أو الألومنيوم، يُطلى بطبقة ذات امتصاصية عالية للإشعاع الشمسي مثل الكروم أو مادة Tinox. تنتقل الحرارة الممتصة إلى الأنابيب المثبتة أسفل اللوح، ومنها إلى المياه.



**شكل(30) صورة سخان شمسي ذو لوح مسطح**

## المميزات:

1.عمر افتراضي قد يصل إلى 25 عامًا.

2.تحمل ضغط مياه مرتفع.

3 استقرار حراري جيد تحت تغيرات الطقس.

4.انتشار واسع وسهولة توفر قطع الغيار.

5.استخدام وصلات من الاستانلس ستيل 316 في الأنواع الحديثة لمقاومة التآكل.

## العيوب:

1.تكلفة ابتدائية مرتفعة.

2.وزن ثقيل نسبيًا.

3.في حال تلف اللوح خارج الضمان قد تكون تكلفة الاستبدال مرتفعة.

## سخان الأنابيب المفرغة Evacuated Tube Collector

يتكون من أنابيب زجاجية مزدوجة من نوع Borosilicate، يتم تفريغ الهواء بين الجدارين لتقليل الفقد الحراري.

تمتص الطبقة الداخلية الداكنة الإشعاع الشمسي، بينما يعمل الفراغ بين الأنبوبين كعازل حراري يقلل انتقال الحرارة إلى الخارج.

**المميزات:**

1.كفاءة حرارية جيدة في درجات الحرارة المنخفضة.

2.تكلفة أقل في بعض الأنواع غير المضغوطة.

3.مناسب للاستخدامات ذات الضغط المنخفض.



**شكل(31) سخان الأنابيب المفرغة**

## العيوب:

1.لا يتحمل ضغط المياه العالي.

2.قابلية للكسر نتيجة سماكة الزجاج.

3.عمر افتراضي أقصر نسبيًا.

## سخان الأنابيب الحراريةHeat Pipe Collector

يتكون من أنبوب نحاسي داخلي يحتوي على سائل حراري منخفض درجة الغليان، موضوع داخل أنبوب زجاجي مفرغ.

عند تعرض الأنبوب للإشعاع الشمسي، يسخن السائل الداخلي ويبدأ بالتبخر عند درجة حرارة منخفضة نسبيًا، فيرتفع البخار ناقلًا الحرارة إلى أعلى الأنبوب حيث يتم تكثيفه ونقل الحرارة إلى المياه.



**شكل(32) صورة سخان أنابيب حرارية**

## المميزات:

1.كفاءة عالية في المناطق الباردة.

2.سرعة في نقل الحرارة.

3.تحمل جيد لتقلبات الطقس.

## العيوب:

1.انخفاض الكفاءة في المناخ الحار جدًا.

2.تكلفة مرتفعة.

3.محدود الانتشار في بعض الدول ذات الطقس الحار.

## صيانة السخانات الشمسية

تُعد الصيانة عنصرًا أساسيًا في ضمان كفاءة النظام وإطالة عمره التشغيلي.

### أهم الاعتبارات الفنية:

1. اختيار خزان بسماكة لا تقل عن 3 مم.
2. استخدام وصلات من الاستانلس ستيل 316.
3. التأكد من جودة أنابيب النحاس.
4. إجراء فحص دوري للمجمع والخزان والوصلات.
5. الاعتماد على شركات متخصصة في التركيب والصيانة.

## محطات الطاقة الشمسية المركزة (CSP)

### مبدأ عمل محطة الطاقة الشمسية المركزة

لتبسيط الفكرة، يمكن تشبيه مبدأ عمل محطات الطاقة الشمسية المركزة باستخدام العدسة المكبرة لتركيز أشعة الشمس على نقطة واحدة لإشعال ورقة. عند تركيز الإشعاع الشمسي في نقطة صغيرة ترتفع درجة الحرارة بشكل كبير.

وبالمثل، تعتمد محطات الطاقة الشمسية المركزة (CSP – Concentrated Solar Power) على تركيز الإشعاع الشمسي باستخدام مرايا عاكسة نحو مستقبل حراري، حيث يتم تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية عالية، ثم استخدامها لإنتاج البخار الذي يدير توربينًا متصلًا بمولد كهربائي لإنتاج الكهرباء.

بمعنى آخر:الطاقة الشمسية ← طاقة حرارية ← طاقة ميكانيكية ← طاقة كهربائية

### المكونات الرئيسية لمحطة الطاقة الشمسية المركزة

تتكون محطات الطاقة الشمسية المركزة – على اختلاف أنواعها – من العناصر الأساسية التالية:

## مجموعة المرايا العاكسة

هي مجموعة من المرايا يتم ترتيبها هندسيًا بطريقة مدروسة لتعكس أكبر قدر ممكن من الإشعاع الشمسي نحو نقطة أو خط محدد يمثل موقع المستقبل الحراري.

وظيفتها الأساسية هي تركيز الإشعاع الشمسي وزيادة كثافته الحرارية.

## 2.المستقبل الحراري (Receiver)

قد يكون المستقبل:برجًا مرتفعًا (في أنظمة الأبراج) او أنبوبًا ممتدًا (في أنظمة الأحواض)

وظيفته استقبال الإشعاع الشمسي المركز وتحويله إلى حرارة يتم تخزينها في سائل ناقل للحرارة مثل:الماء الزيت الحراري أملاح منصهرة

يقوم هذا السائل بنقل الطاقة الحرارية لاستخدامها لاحقًا في توليد البخار.

## 3.خزان البخار

بعد تسخين السائل الناقل للحرارة، يتم استخدامه لتسخين الماء وتحويله إلى بخار عالي الضغط.

يتم تجميع هذا البخار وتنظيم ضغطه وسرعته قبل توجيهه إلى التوربين.

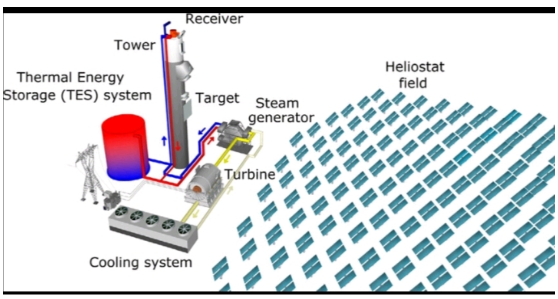
## 4.التوربين (العنفة البخارية)

عند وصول البخار عالي الضغط، تبدأ العنفة بالدوران نتيجة طاقة البخار الحركية.

يرتبط التوربين مباشرة بمولد كهربائي يحول الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية.

## 5.المولد الكهربائي

غالبًا ما يكون مولدًا ثلاثي الطور، ويتم ربطه بالشبكة الكهربائية مباشرة لتغذية الشبكة بالطاقة المنتجة على مستوى المرافق الخدمية (Utility-Scale).




**شكل(33) صورة توضيحية لمحطة طاقة شمسية**

## أنواع محطات الطاقة الشمسية المركزة

تنتمي جميع محطات CSP العاملة حاليًا إلى أحد الأنواع الأربعة التالية:

1. الصحون المكافئة (Parabolic Dishes)

2. أبراج الطاقة الشمسية (Solar Power Towers)

3. الأحواض المكافئة (Parabolic Troughs)

4. أنظمة فرينزل الخطية (Linear Fresnel Systems)

## الصحون المكافئة (Parabolic Dishes)

يتكون هذا النظام من مرآة كبيرة على شكل قطع مكافئ تشبه صحن الاستقبال الفضائي.

تقوم هذه المرآة بتركيز أشعة الشمس في نقطة واحدة تُسمى البؤرة (Focus) أو محرق الصحن، حيث يتم تركيب محرك حراري.

جميع المكونات تكون مثبتة على نظام تتبع شمسي ثنائي المحور لملاحقة حركة الشمس طوال النهار.



**شكل(34) صورة لصحون المكافئة**

## أهم الميزات:

1. لا تحتاج إلى مساحات كبيرة جدًا.

2. لا تشترط أرضًا مستوية بالكامل.

3. كفاءة حرارية مرتفعة نسبيًا بسبب التركيز العالي.

## أبراج الطاقة الشمسية (Solar Power Towers)

يعتمد هذا النظام على برج مركزي مرتفع تحيط به آلاف المرايا المتحركة المسماة Heliostats.

تعكس هذه المرايا الإشعاع الشمسي نحو مستقبل حراري مثبت أعلى البرج.

يتم تسخين سائل ناقل للحرارة قد تصل حرارته إلى حوالي 600 درجة مئوية.

يُستخدم غالبًا الملح المنصهر نظرًا لقدرته العالية على تخزين الحرارة لفترات طويلة.

مثال تطبيقي:

مشروع نور في المغرب، والذي يُعد من أكبر مشاريع الطاقة الشمسية الحرارية عالميًا بقدرة تقارب 510 ميجاواط.



**شكل (35)صورة برج شمسي مشروع نور بالمغرب**

## الأحواض المكافئة (Parabolic Troughs)

في هذا النظام تكون المرايا على شكل حوض مكافئ (يشبه حرف U).

يمر في منتصف الحوض أنبوب يحتوي على سائل ناقل للحرارة.

تعكس المرايا أشعة الشمس نحو الأنبوب، مما يؤدي إلى تسخين السائل بداخله، والذي يستخدم لاحقًا لتوليد البخار.

يستخدم غالبًا زيت حراري يمكن أن تصل حرارته إلى حوالي 393 درجة مئوية.

يُعد هذا النوع الأكثر انتشارًا عالميًا بين أنظمة الطاقة الشمسية المركزة.



شكل(36) صورة الأحواض المكافئة

## أنظمة فرينزل الخطية (Linear Fresnel Systems)

تعتمد على صفوف من المرايا المسطحة أو شبه المسطحة مرتبة بطريقة تقلل عدد المرايا المستخدمة.

توجه هذه المرايا الإشعاع الشمسي نحو أنبوب مرتفع يحتوي على السائل الناقل للحرارة.

يتم تركيب هذه الأنظمة غالبًا بمحور شمال–جنوب لتعظيم الاستفادة السنوية من الإشعاع الشمسي، خاصة في فصل الصيف.



شكل(37) صورة لنظام فرينزل الخطي

كفاءة محطات الطاقة الشمسية المركزة تتراوح كفاءة تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء في محطات CSP بين7% إلى 25%

### وتعتمد الكفاءة على:

1. نوع النظام
2. نوع المستقبل الحراري
3. نوع المحرك الحراري
4. ظروف الإشعاع الشمسي

رغم أن الكفاءة تبدو منخفضة مقارنةً ببعض المصادر الأخرى مثل:

توربينات الرياح (قد تصل إلى 59%)

المحطات الكهرومائية (قد تصل إلى 90%)

إلا أنها قريبة من كفاءة الخلايا الكهروضوئية (14% – 23%).

## مقارنة بين محطات CSP ومحطات PV

### من حيث التطبيق

تتطلب محطات CSP إشعاعًا شمسيًا مباشرًا ومساحات واسعة.

تُستخدم غالبًا على مستوى الشبكات الكبرى (Utility-Scale).

لا تناسب التطبيقات المنزلية.

بينما أنظمة PV:

1. يمكن تركيبها منزليًا وصناعيًا.

2. تعمل حتى في وجود غيوم جزئية.

3. أكثر مرونة في الاستخدام.

### من حيث التكلفة

أنظمة PV حاليًا أقل تكلفة من CSP،

ويرجع ذلك إلى:

1. انخفاض أسعار الألواح

2. سهولة التركيب

3 انتشار التكنولوجيا

وقد بلغت القدرة المركبة عالميًا لمحطات CSP حوالي 5 جيجاواط (2016)،

بينما تجاوزت القدرة المركبة لأنظمة PV مئات الجيجاواط.

## من حيث التخزين

الميزة الأهم لمحطات CSP هي:

إمكانية تخزين الطاقة الحرارية بسهولة باستخدام الأملاح المنصهرة

وهذا يسمح لها بالعمل لعدة ساعات بعد غروب الشمس،على عكس أنظمة PV التي تحتاج إلى بطاريات لتخزين الكهرباء.

تمثل محطات الطاقة الشمسية المركزة إحدى التقنيات المهمة لاستغلال الإشعاع الشمسي على نطاق واسع لتوليد الكهرباء.

ورغم محدودية انتشارها مقارنة بالأنظمة الكهروضوئية، إلا أنها تتميز بقدرتها على تخزين الطاقة الحرارية وإنتاج الكهرباء حتى بعد غياب الشمس.

وقد نجحت بعض الدول العربية مثل المغرب والإمارات العربية المتحدة في تنفيذ مشاريع كبرى في هذا المجال، مما يعكس الإمكانات الكبيرة لهذه التقنية في المناطق ذات الإشعاع الشمسي المرتفع.

| **CSPالطاقة الشمسية المركزة** | **PV الخلايا الكهروضوئية** | |
|---|---|---|
| **تركيز أشعة الشمس لإنتاج حرارة ثم كهرباء** | **تحويل الضوء مباشرة إلى كهرباء** | **مبدأ العمل** |
| **تقريبًا 30% – 40% للمحطات الكبيرة.** | **تقريبًا 18% – 23% للألواح التجارية** | **كفاءة التحويل الكهربائية** |
| **عالي – مرايا، سوائل حرارية، توربينات متحركة** | **بسيط نسبيًا – بدون أجزاء ميكانيكية** | **التعقيد التقني** |
| **يحتاج إشعاع شمسي مباشر قوي (DNI)** | **يعمل مع الإشعاع المباشر والمنتشر** | **الحاجة لأشعة مباشرة** |
| **تخزين حراري بالأملاح المنصهرة (فعال للمشاريع الكبيرة)** | **بطاريات (مكلفة نسبيًا)** | **التخزين** |
| **أعلى بسبب الأجزاء الميكانيكية<br>قليلة** | | **الصيانة** |
| **غير مناسب<br>مناسب جدًا** | | **الاستخدام المنزلي** |
| **فقط محطات ضخمة** | **من أنظمة صغيرة حتى محطات كبيرة** | **حجم المشروع** |
| **مرتفعة جدًا بالبداية** | **منخفضة نسبيًا لكل كيلوواط** | **لتكلفة الأولية** |
| **محدود وموجود بدول معينة** | **الأكثر انتشارًا عالميًا** | **الانتشار عالميًا** |

**جدول(2) المقارنة بين نظام PV و CP**

# زوايا الألواح الشمسية

## اتجاه تركيب الألواح الشمسية

يُعدّ اتجاه تركيب الألواح الشمسية أحد أهم العوامل المؤثرة في كفاءة إنتاج الطاقة الكهربائية من الأنظمة الشمسية. فاختيار الاتجاه المناسب يضمن تعرّض الألواح لأكبر قدر ممكن من الإشعاع الشمسي خلال ساعات النهار، مما يرفع من القدرة الإنتاجية للنظام ويُحسّن العائد الاستثماري ويُقلّل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية.

ويتأثر تحديد الاتجاه الأمثل بعدة عوامل، من أبرزها الموقع الجغرافي، وزاوية سقوط أشعة الشمس، إضافة إلى وجود الظلال أو العوائق المحيطة مثل المباني أو الأشجار، والتي قد تحدّ من وصول الإشعاع الشمسي إلى سطح الألواح، وبالتالي تؤثر سلبًا على كفاءة النظام. لذلك فإن دراسة الاتجاه المناسب تُعد خطوة أساسية عند تصميم أي منظومة شمسية.

## أهمية اتجاه الألواح الشمسية وتأثيره على أداء المنظومة

يشكّل كلٌّ من اتجاه الألواح الشمسية وزاوية ميلها عنصرين رئيسيين في تحديد مستوى إنتاج الطاقة. ويمكن توضيح تأثيرهما من خلال النقاط التالية:

## 1.أهمية اختيار الاتجاه الصحيح

توجيه الألواح الشمسية بالشكل المناسب يضمن تحقيق أقصى استفادة من أشعة الشمس على مدار اليوم. ففي معظم الدول العربية، يُعتبر التوجيه نحو الجنوب هو الخيار الأمثل، حيث يسمح للألواح باستقبال الإشعاع الشمسي المباشر لفترات أطول، خاصة خلال فصل الشتاء عندما تكون زاوية الشمس منخفضة نسبيًا.

أما في حال توجيه الألواح نحو الشرق أو الغرب، فإن الإنتاجية قد تنخفض نتيجة محدودية التعرض المباشر لأشعة الشمس خلال جزء من اليوم، مما يؤدي إلى انخفاض إجمالي الطاقة المنتجة.

## 2.تأثير زاوية الميل على الكفاءة

لا يقتصر الأداء الجيد للنظام الشمسي على الاتجاه فقط، بل يرتبط أيضًا بزاوية ميل الألواح. فالزاوية المناسبة تُمكّن الألواح من استقبال أكبر قدر من الإشعاع الشمسي بشكل عمودي تقريبًا، مما يزيد من كفاءة التحويل الكهربائي. وتختلف زاوية الميل المثالية تبعًا لخط العرض والموقع الجغرافي لكل منطقة.

## 3.العلاقة بين الاتجاه والجدوى الاقتصادية

التركيب بزاوية أو اتجاه غير مناسب قد يؤدي إلى انخفاض ملحوظ في الإنتاج السنوي للطاقة، وبالتالي زيادة مدة استرداد تكلفة النظام. ولهذا السبب، يُنصح بإجراء دراسة مسبقة للموقع تشمل تحليل المسار الشمسي وتقييم العوائق المحتملة قبل تنفيذ عملية التركيب.

أفضل اتجاه لتركيب الألواح الشمسية في الدول العربية

نظرًا لوقوع معظم الدول العربية ضمن النصف الشمالي من الكرة الأرضية، فإن التوجيه نحو الجنوب يُعد الخيار الأكثر كفاءة. هذا الاتجاه يوفّر تعرّضًا مستمرًا للإشعاع الشمسي المباشر خلال ساعات النهار، مما يعزّز إنتاجية النظام ويُحسّن من أدائه السنوي.

## أهمية التوجيه نحو الجنوب

في النصف الشمالي من الكرة الأرضية، تتحرك الشمس ظاهريًا في مسار جنوبي نسبيًا، ولذلك فإن توجيه الألواح نحو الجنوب يتيح استقبال أكبر كمية ممكنة من الإشعاع الشمسي المباشر على مدار العام، خصوصًا خلال فصل الشتاء.

أما التوجيه نحو الشرق أو الغرب فقد يكون مناسبًا في بعض الحالات الخاصة (مثل الرغبة في زيادة الإنتاج الصباحي أو المسائي)، إلا أنه غالبًا ما يؤدي إلى انخفاض إجمالي الطاقة المنتجة مقارنةً بالتوجيه الجنوبي.

## كيفية حساب زاوية ميل الألواح الشمسية

تُعرَّف زاوية ميل الألواح الشمسية بأنها الزاوية المحصورة بين سطح اللوح والمستوى الأفقي. وتُعد هذه الزاوية عنصرًا أساسيًا في تحسين كفاءة النظام، إذ إن اختيار ميل مناسب يسمح باستقبال أكبر قدر ممكن من الإشعاع الشمسي المباشر، مما ينعكس إيجابًا على كمية الطاقة الكهربائية المنتجة.

وتختلف زاوية الميل المثلى باختلاف خط العرض والموسم (صيفًا أو شتاءً)، ويمكن الاستعانة بالمعادلات التقريبية التالية لتحديد الزاوية المناسبة:

## أولًا: زاوية الميل في فصل الصيف

إذا كان خط العرض للموقع:

أقل من 25°:

زاوية الميل = (خط العرض × 0.05) + 1°

بين 25° و50°:

زاوية الميل = (خط العرض × 0.93) − 21°

أكبر من 50°:

زاوية الميل = خط العرض − 24.5°

## ثانيًا: زاوية الميل في فصل الشتاء

إذا كان خط العرض للموقع:

أقل من 25°:

زاوية الميل = خط العرض + 16°

بين 25° و50°:

زاوية الميل = (خط العرض × 0.88) + 19°

أكثر من 50°:

زاوية الميل = خط العرض × 0.82

## زاوية الميل المثالية على مدار العام (المعدل السنوي)

للحصول على أفضل أداء سنوي دون تعديل الزاوية موسميًا، يمكن اعتماد زاوية ميل ثابتة وفق المعادلات التالية:

إذا كان خط العرض:

أقل من 25°:

زاوية الميل = (خط العرض × 0.84) + 1

بين 25° و50°:

زاوية الميل = (خط العرض × 0.76) + 3

أكثر من 50°:

زاوية الميل = (خط العرض × 0.66) + 30

## مثال تطبيقي

لنفترض أن خط العرض لمنطقة معينة هو 15° (كما هو الحال في بعض مناطق اليمن).

باستخدام معادلة المعدل السنوي للفئة بين 25° و50°:

زاوية الميل = (15 × 0.76) + 3

زاوية الميل = 11.4 + 3 = 14.4°

وعليه، فإن الزاوية المناسبة تقارب 14° إلى 15° باتجاه الجنوب، لضمان تحقيق أفضل إنتاجية كهربائية على مدار العام.

## اختلاف زوايا ميل الألواح الشمسية وعلاقته بالتضاريس

تعتمد زاوية ميل الألواح الشمسية أساسًا على خط العرض الجغرافي، لكن قد تختلف عمليًا من منطقة إلى أخرى بسبب:

1.طبيعة التضاريس (جبال – أودية – مرتفعات)

2.زاوية حجب الأفق

3.توزيع الإشعاع اليومي

4.درجة الحرارة المحلية

لذلك فإن الزاوية النظرية المبنية على خط العرض قد تحتاج تعديلًا بسيطًا حسب ظروف الموقع الفعلية.

# زاوية الألواح الشمسية في منطقة دير علا

## أولًا: المعطيات الجغرافية

1.خط العرض ≈ 31.9° شمالًا

2.المنطقة منخفضة عن سطح البحر

3.درجات الحرارة مرتفعة صيفًا

4.طبيعة مفتوحة نسبيًا مع وجود تضاريس في بعض الاتجاهات

## الزاوية النظرية الأساسية

القاعدة العامة:

زاوية الميل السنوية ≈ خط العرض

في دير علا:

زاوية الميل السنوية ≈ 30° إلى 32°

وهي الزاوية التي تعطي أفضل إنتاج سنوي متوازن.

## حساب زاوية ارتفاع الشمس

القانون العام:

زاوية ارتفاع الشمس = 90° − خط العرض + ميل الشمس الموسمي

حيث ميل الشمس الموسمي:

+23.5° في الانقلاب الصيفي

−23.5° في الانقلاب الشتوي

## في الصيف

زاوية الارتفاع = 90 − 31.9 + 23.5

≈ 81.6°

زاوية الميل المناسبة صيفًا:

زاوية الميل ≈ خط العرض − (10° إلى 15°)

≈ 17° إلى 22°

## في الشتاء

زاوية الارتفاع = 90 − 31.9 − 23.5

≈ 34.6°

زاوية الميل المناسبة شتاءً:

زاوية الميل ≈ خط العرض + (10° إلى 15°)

≈ 42° إلى 47°

## زاوية حجب الأفق (تأثير التضاريس)

إذا وُجد جبل أو تل مقابل الموقع، فإنه قد يحجب الشمس في ساعات معينة.

يتم حساب زاوية حجب الأفق باستخدام:

زاوية حجب الأفق = arctan (ارتفاع العائق ÷ المسافة الأفقية)

حيث:

ارتفاع العائق = الفرق الرأسي بين الموقع وقمة الجبل

المسافة الأفقية = المسافة الأفقية بين الموقع والعائق

مثال تطبيقي

ارتفاع تل = 180 متر

المسافة الأفقية = 900 متر

زاوية الحجب (= arctan 180 ÷ 900)

= arctan 0.2≈ 11.3°

هذا يعني أن الشمس لا تضيء الموقع إلا بعد أن تتجاوز ارتفاع 11.3° فوق الأفق.

تأثير زاوية الحجب

إذا كانت زاوية ارتفاع الشمس شتاءً عند الظهر ≈ 34.6°

وكانت زاوية الحجب 11.3°

فإن ساعات الصباح والمساء قد تكون غير فعالة،

ويتم التركيز على تحسين إنتاج فترة الظهيرة.

## تأثير الحرارة في دير علا

بسبب ارتفاع الحرارة، تنخفض كفاءة الألواح الشمسية.

القانون الحراري:

نسبة الفقد الحراري = معامل الحرارة × (درجة حرارة الخلية − 25)

القدرة الفعلية = القدرة الاسمية × (1 − نسبة الفقد)

مثال

لوح قدرته 550 واط

معامل الحرارة = −0.4% لكل درجة مئوية

درجة حرارة الخلية = 60°C

فرق الحرارة = 60 − 25 = 35°

نسبة الفقد = 35 × 0.4%

= 14%

القدرة الفعلية ≈ 550 × (1 − 0.14)

≈ 473 واط

## اختيار الزاوية المناسبة حسب نوع النظام

نظام سنوي متوازن:

≈ 30°

نظام يركز على إنتاج الصيف (مزارع – ضخ مياه):

≈ 20°

نظام يركز على إنتاج الشتاء:

≈ 45°

في حال وجود زاوية حجب أفق كبيرة (>10°):

يُفضّل تحسين زاوية الميل لتعزيز إنتاج ساعات الذروة بدل الاعتماد على الصباح الباكر.

## الخلاصة العلمية في دير علا

الزاوية الأساسية تُحدد من خط العرض (≈ 31.9°).

زاوية الصيف أقل من خط العرض بـ 10–15°.

زاوية الشتاء أكبر من خط العرض بـ 10–15°.

زاوية حجب الأفق تُحسب باستخدام arctan (الارتفاع ÷ المسافة).

الحرارة تؤثر مباشرة على القدرة باستخدام قانون معامل الحرارة.

زاوية الميل النهائية لا تعتمد فقط على الموقع الجغرافي، بل على:

خط العرض

التضاريس

درجة الحرارة

طبيعة الحمل الكهربائي

## تأثير التوجيه على الإنتاج اليومي

### التوجيه الأمثل:

يسمح بتعرّض الألواح لأقصى قدر من الإشعاع الشمسي المباشر خلال ساعات النهار، مما يؤدي إلى زيادة الطاقة المنتجة يوميًا ورفع كفاءة النظام.

### التوجيه غير المناسب:

يقلل من فترات التعرض المباشر للشمس، وهو ما يؤدي إلى انخفاض واضح في كمية الطاقة المنتجة خلال اليوم.

ثانيًا: تأثير التوجيه على الإنتاج الشهري

### التوجيه الصحيح:

يساهم في تحقيق توزيع متوازن للطاقة المنتجة على مدار أيام الشهر، مما يعزز استقرار التغذية الكهربائية ويُحسن من أداء النظام على المدى المتوسط والطويل.

### التوجيه غير المثالي:

قد يؤدي إلى تذبذب في الإنتاج، خاصة مع تغير زاوية سقوط أشعة الشمس خلال الفصول المختلفة، مما قد يؤثر على استمرارية تلبية الأحمال الكهربائية.

إن اختيار الاتجاه المناسب وزاوية الميل الصحيحة لا يرفع فقط من كفاءة النظام الشمسي، بل يقلل أيضًا من فترة استرداد التكلفة ويعزز الجدوى الاقتصادية للمشروع.

## أخطاء شائعة عند تحديد اتجاه وزاوية الألواح الشمسية

يُعد تحديد اتجاه الألواح الشمسية وزاوية ميلها بدقة خطوة أساسية لضمان تحقيق أعلى كفاءة تشغيلية للنظام. إلا أن بعض الممارسات الخاطئة أثناء التصميم أو التنفيذ قد تؤدي إلى انخفاض الإنتاجية وزيادة الخسائر. ومن أبرز هذه الأخطاء ما يلي:

## 1. التوجيه غير الصحيح

توجيه الألواح نحو الشرق أو الغرب في النصف الشمالي من الكرة الأرضية قد يؤدي إلى انخفاض ملحوظ في إجمالي الطاقة المنتجة مقارنة بالتوجيه نحو الجنوب، والذي يُعد الخيار الأمثل لتحقيق أقصى استفادة من الإشعاع الشمسي على مدار اليوم.

## 2. اختيار زاوية ميل غير مناسبة

اعتماد زاوية ميل عشوائية أو ثابتة دون مراعاة خط العرض والموقع الجغرافي يؤدي إلى تقليل كمية الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الألواح. لذلك يجب احتساب زاوية الميل وفق المعادلات المناسبة أو بناءً على بيانات الموقع الفعلية.

## 3. الاعتماد على التقديرات دون إجراء محاكاة

الاكتفاء بالتقدير النظري دون استخدام أدوات تحليل متخصصة قد ينتج عنه اختيار اتجاه أو زاوية غير مثاليين. يُنصح باستخدام برامج محاكاة احترافية مثل PVsyst لتقييم الأداء المتوقع وتحديد الإعدادات الأنسب قبل التنفيذ.

## 4. تركيب الألواح في مناطق معرضة للظل

وجود ظل جزئي—even لفترة قصيرة من اليوم—قد يؤدي إلى انخفاض كبير في الإنتاجية. لذا يجب دراسة الموقع بعناية، والتأكد من خلوه من الظلال الناتجة عن المباني، الأشجار، أو أي عوائق محيطة، خاصة خلال ساعات الذروة الشمسية.

## 5. إهمال أعمال الصيانة الدورية

تراكم الأتربة والغبار على سطح الألواح يقلل من كفاءة امتصاص الإشعاع الشمسي، وبالتالي يؤثر سلبًا على الإنتاج. الحفاظ على نظافة الألواح من خلال برامج صيانة منتظمة يُعد جزءًا أساسيًا من ضمان الأداء الأمثل.

## 6. الاعتماد على فنيين غير مؤهلين

التركيب غير الاحترافي قد يتسبب في أخطاء في المحاذاة، أو تثبيت غير آمن، أو توصيلات كهربائية غير صحيحة، مما يؤثر على الأداء ويشكل خطرًا على السلامة. لذلك يُوصى دائمًا بالاستعانة بمهندسين أو فنيين معتمدين وذوي خبرة في تصميم وتنفيذ أنظمة الطاقة الشمسية.

تأثير الظل والعوائق المحيطة على كفاءة النظام

يُعتبر تأثير الظل من أكثر العوامل تأثيرًا على أداء الألواح الشمسية. فعند تظليل جزء من اللوح، لا يقتصر التأثير على المنطقة المظللة فقط، بل يمتد ليؤثر على أداء اللوح كاملًا، نظرًا لارتباط الخلايا داخليًا على شكل سلاسل كهربائية.

## تأثير الظل على الأداء

عند حجب الضوء عن جزء من اللوح:

ينخفض الجهد الكلي للوحة.

قد يتولد تيار عكسي يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الخلايا المظللة.

تنخفض الكفاءة العامة للنظام.

في بعض الحالات الشديدة، قد يصل انخفاض الإنتاج إلى نسب مرتفعة جدًا مقارنة بالحالة المثالية.

كما أن التظليل المتكرر قد يساهم في تقليل العمر التشغيلي للألواح نتيجة الإجهاد الحراري المستمر.

حلول للتقليل من تأثير الظل

## لمعالجة تأثير الظلال وتحسين أداء النظام، يمكن اعتماد بعض الحلول التقنية، من أهمها:

## 1. العاكسات الميكروية (Microinverters)

تعمل هذه التقنية على تحويل التيار المستمر إلى متردد لكل لوح على حدة، مما يسمح لكل لوحة بالعمل بشكل مستقل، ويمنع تأثر بقية الألواح بضعف أداء لوح واحد مظلل.

## 2. محسنات القدرة (Power Optimizers)

تُركّب هذه الأجهزة مع كل لوح شمسي، وتعمل على ضبط الجهد والتيار بشكل مستقل، مما يساهم في تقليل تأثير الظلال الجزئية وتحسين الإنتاج تحت الظروف غير المثالية.

إن التخطيط السليم لموقع التركيب، واختيار الاتجاه والزاوية المناسبة، إلى جانب استخدام تقنيات الحماية من الظلال، يُعدّ من الركائز الأساسية لضمان كفاءة عالية واستدامة طويلة الأمد للنظام الشمسي.

## تأثير الظل على الألواح الشمسية

## قانون حساب طول الظل

طول الظل = ارتفاع الجسم ÷ ظل زاوية ارتفاع الشمس

أي أن:

طول الظل = ارتفاع الجسم ÷ tan(زاوية ارتفاع الشمس)

حيث:

ارتفاع الجسم بالمتر

زاوية ارتفاع الشمس بالدرجات

كلما صغرت زاوية الشمس (صباحًا أو شتاءً)، زاد طول الظل.

## مثال تطبيقي

جدار ارتفاعه 3 متر

زاوية الشمس = 30°

ظل 30° ≈ 0.577

طول الظل = 3 ÷ 0.577

طول الظل ≈ 5.2 متر

يعني الجدار سيُسقط ظلًا بطول 5.2 متر تقريبًا.

## مثال تطبيقي

عمود ارتفاعه 2.5 متر

زاوية الشمس 25°

احسب طول الظل.

## تأثير الظل على الإنتاج

إذا تم تظليل خلية واحدة في لوح موصول على شكل سلسلة:

التيار الكلي للسلسلة ينخفض إلى قيمة أقل لوح.

القدرة الكلية للنظام تنخفض بشكل كبير.

قد يحدث ارتفاع حرارة موضعي (Hot Spot).

## المسافة بين صفوف الألواح لتجنب التظليل

نستخدم قانون الظل نفسه لكن نطبقه على ارتفاع اللوح الخلفي.

قانون حساب المسافة الدنيا بين صفين

المسافة الدنيا بين الصفوف = ارتفاع اللوح الخلفي ÷ tan(زاوية الشمس الدنيا)

زاوية الشمس الدنيا عادة تُؤخذ في:

يوم 21 ديسمبر (الانقلاب الشتوي)

عند الساعة 12 ظهرًا

## مثال تطبيقي

لوح مائل بارتفاع خلفي = 1 متر

زاوية الشمس الدنيا = 20°

tan 20° ≈ 0.364

المسافة = 1 ÷ 0.364

المسافة ≈ 2.74 متر

إذن يجب ترك مسافة لا تقل عن 2.74 متر بين الصفين.

## مثال تطبيقي

لوح ارتفاعه الخلفي 1.2 متر

زاوية الشمس الدنيا 18°

احسب أقل مسافة بين الصفوف.

## التظليل التوصيل على شكل سلسلة –( Series)

عند التوصيل على شكل سلسلة:

الجهد الكلي = مجموع جهود الألواح

التيار الكلي = تيار أضعف لوح في السلسلة

أي أن:

V الكلي = V1 + V2 + V3 + ...

**I** الكلي = أقل تيار بين الألواح

## مثال تطبيقي

3 ألواح كل واحد جهده 40 فولت

والتيار 10 أمبير

الجهد الكلي = 40 + 40 + 40 = 120 فولت

التيار الكلي = 10 أمبير

إذا أحد الألواح تظلل وأصبح تياره 4 أمبير:

التيار الكلي للسلسلة يصبح 4 أمبير

فتنخفض القدرة بشكل كبير.

قانون القدرة

القدرة = الجهد × التيار

$P = V \times I$

## مثال تطبيقي

سلسلة جهدها 120 فولت

والتيار بعد التظليل أصبح 4 أمبير

القدرة = 120 × 4 = 480 واط

بعد أن كانت 120 × 10 = 1200 واط

يعني خسارة أكثر من 60%.

## مثال تطبيقي

4 ألواح كل واحد 45 فولت و9 أمبير

لو تظلل لوح واحد وأصبح تياره 3 أمبير

احسب القدرة قبل وبعد التظليل.

## الدايدودات (Bypass Diodes)

الدايدودات أجهزة داخل اللوح الشمسي تعزل الجزء المظلل، تحميه من السخونة الزائدة وتقليل الضرر.

الحساب عند وجود دايدود:

V الجديد ≈ V × (الجزء غير المظلل ÷ اللوح الكلي)

I ≈ تقريباً ثابت

P الجديد = V الجديد × I

## مثال تطبيقي

لوح 40 = V فولت, 12 = I أمبير

ثلث اللوح مظلل → V الجديد ≈ 26.6 فولت

11 ≈ I أمبير

P الجديد ≈ 293 واط

الفقد ≈ 187 واط

# تصميم أنظمة الطاقة الشمسية

تصميم أنظمة الطاقة الشمسية هو أساس استغلال الطاقة النظيفة بكفاءة، سواء للأغراض الكهربائية أو الحرارية. يشمل التصميم اختيار الألواح الشمسية المناسبة، تحديد اتجاهها وزاوية ميلها، وحساب قدرة الإنفرتر والبطاريات في الأنظمة الكهربائية. كما يشمل في الأنظمة الحرارية اختيار السخانات وحجم الخزانات لضمان توفير الحرارة المطلوبة بأقل هدر للطاقة.

الهدف من التصميم هو تحقيق التوازن بين الإنتاج والاستهلاك، مع مراعاة الظروف البيئية والمكانية، لضمان نظام شمسي عملي، مستدام وفعّال على المدى الطويل.

## الانظمة الكهروضوئية

## 1.تصميم نظام طاقة شمسية منزلي On-Grid خطوة بخطوة

### حساب الاستهلاك من الفواتير الشهرية

أغلب الناس يكون عندهم 12 فاتورة في السنة.

الخطوة الصحيحة هي جمع الاستهلاك السنوي بالكامل ثم استخراج المتوسط.

الطريقة التفصيلية:

نجمع استهلاك الـ 12 شهر من الفواتير.

مثال:

يناير = 700 ك.و.س

فبراير = 650

مارس = 800

أبريل = 900

مايو = 950

يونيو = 1000

يوليو = 1100

أغسطس = 1050

سبتمبر = 900

أكتوبر = 800

نوفمبر = 750

ديسمبر = 700

المجموع السنوي = 10,300 كيلو واط ساعة

نحسب المتوسط الشهري:

المتوسط الشهري = المجموع السنوي ÷ 12

10,300 ÷ 12 = 858 كيلو واط ساعة تقريباً

نحسب الاستهلاك اليومي:

الاستهلاك اليومي = المجموع السنوي ÷ 365

10,300 ÷ 365 = 28.2 كيلو واط ساعة يومياً

بهذا الشكل أي شخص بسيط يستطيع معرفة رقمه الحقيقي بدون تقدير عشوائي.

## حساب حجم النظام المطلوب

نستخدم ساعات الذروة الشمسية (Peak Sun Hours)

في أغلب مناطقنا المتوسط بين 4.3 إلى 4.7 ساعة يومياً.

نأخذ رقم محافظ 4.5 ساعات لتجنب المبالغة.

حجم النظام = الاستهلاك اليومي ÷ ساعات الذروة

28.2 ÷ 4.5 = 6.26 كيلوواط

نقربها عملياً إلى:

6.5 كيلوواط نظام

## حساب عدد الألواح

نفترض استخدام لوح 550 واط.

عدد الألواح = قدرة النظام ÷ قدرة اللوح

11.8 = 550 ÷ 6500

نقرب إلى 12 لوح.

القدرة المركبة الفعلية:

12 × 550 = 6600 واط

رابعاً: حساب الجهد والتيار

بيانات اللوح:

Vmp = 41 فولت

Imp = 13 أمبير

إذا ركبنا 12 لوح على التوالي:

جهد السلسلة = 41 × 12 = 492 فولت

تيار السلسلة = 13 أمبير

القدرة التقريبية = 492 × 13 = 6396 واط

## اختيار قدرة الإنفرتر ولماذا تكون أقل

قدرة الألواح = 6.6 كيلوواط

نختار إنفرتر 6 كيلوواط أو 5 كيلوواط أحياناً.

لماذا؟

الألواح لا تعطي كامل قدرتها طوال اليوم.

الحرارة تخفض الإنتاج.

الذروة تحدث ساعات قليلة فقط.

نسبة زيادة الألواح 10 إلى 20% فوق قدرة الإنفرتر مقبولة هندسياً.

مثال:

لو ركبنا إنفرتر 5 كيلوواط مع 6.6 كيلو ألواح، سيحدث قص طفيف في ساعات الذروة فقط، لكن على مدار السنة الخسارة بسيطة جداً، مقابل توفير في التكلفة.

هذه الممارسة معروفة باسم Oversizing للألواح.

مثال ثانٍ لتصميم نظام منزل أكبر

نفترض منزل يستهلك:

15,000 كيلو واط ساعة سنوياً

الاستهلاك اليومي = 15,000 ÷ 365 = 41 كيلو واط ساعة

حجم النظام = 41 ÷ 4.5 = 9.1 كيلوواط

نقرب إلى 9.5 كيلوواط

عدد الألواح 550 واط:

9500 ÷ 550 = 17.2

نركب 18 لوح

القدرة المركبة = 18 × 550 = 9900 واط

الإنفرتر المناسب:

8 أو 9 كيلوواط حسب السياسة والسعر.

## ملاحظة تنظيمية مهمة جداً

في أنظمة On-Grid، حجم النظام لا يعتمد فقط على الاستهلاك، بل أيضاً على:

1. قدرة القاطع الرئيسي للمنزل.
2. قدرة الربط المسموح بها من شركة الكهرباء.
3. سياسة المحافظة أو الدولة.

4.بعض الدول تسمح بتركيب نظام يساوي 100% من الاستهلاك السنوي فقط.

5.بعض الدول تحدد سقف أقصى مثل 5 كيلوواط للمنازل.

6.بعض الشبكات تسمح بنسبة 120% من الاستهلاك.

7.بعض المناطق تشترط أن لا يتجاوز النظام قدرة القاطع الرئيسي.

## لذلك قبل التصميم يجب:

1.مراجعة تعليمات شركة الكهرباء المحلية.

2.معرفة أقصى قدرة ربط مسموحة.

3.التأكد من أن الإنفرتر متوافق مع شبكة الدولة (تردد، جهد، شهادات مطلوبة).

4.السياسات تختلف من دولة إلى دولة ومن محافظة إلى أخرى.

## الخلاصة العملية

اجمع 12 فاتورة واحسب الاستهلاك السنوي بدقة.

استخرج الاستهلاك اليومي.

اقسم على ساعات الذروة الشمسية الحقيقية للمنطقة.

حدد عدد الألواح حسب قدرة اللوح.

اختر إنفرتر بقدرة أقل قليلاً من قدرة الألواح بنسبة 10 إلى 20%.

تأكد من شروط شركة الكهرباء قبل اعتماد التصميم النهائي.

## 2.نظام Off-Grid

نظام Off-Grid هو نظام طاقة شمسية مستقل عن شبكة الكهرباء.

يعني كل الأحمال في المنزل تعتمد على الطاقة الشمسية مباشرة، مع بطاريات لتخزين الكهرباء عند الحاجة.

حساباته تختلف عن نظام On-Grid، لأننا نعمل على تقدير الاستهلاك الفعلي للأجهزة وتوفير الطاقة لكل ساعة، بدون الاعتماد على الشبكة.

## تحديد الأحمال الكهربائية

في البداية، نحدد جميع الأحمال في البيت مع قدرتها بالواط وساعات التشغيل اليومي

| الجهاز | القدرة (W) | ساعات تشغيل/يوم | الطاقة اليومية (Wh) |
|---|---|---|---|
| مكيف هواء | 1200 | 5 | 6000 |
| حاسوب | 200 | 8 | 1600 |
| ثلاجة | 300 | 24 | 7200 |
| مضخة مياه | 500 | 2 | 1000 |
| إضاءة LED | 100 | 6 | 600 |
| المجموع اليومي | .16400Wh ≈ 16.4 kWh | | |

**جدول(3) احمال كهربائية**

## حساب حجم النظام الكلي

الخطوة 1: تحديد الطاقة المطلوبة يوميًا:

الطاقة اليومية = مجموع أحمال البيت (Wh)

في مثالنا: 16.4 kWh يوميًا

الخطوة 2: تحديد ساعات الذروة الشمسية:

في الأردن تقريبًا: 4.5 ساعات

نستخدمها لحساب قدرة الألواح:

قدرة الألواح الكلية (kW) = الطاقة اليومية ÷ ساعات الذروة

16.4 ÷ 4.5 ≈ 3.64 kW

نختار تقريبًا نظام 4 kW للأمان.

حساب عدد الألواح

نفترض قدرة اللوح 550 W:

عدد الألواح = قدرة النظام ÷ قدرة اللوح

4000 ÷ 550 ≈ 7.27 → نركب 8 ألواح

القدرة الكلية الفعلية:

8 × 550 = 4400 W

التيار والجهد للسلسلة حسب مواصفات اللوح:

Vmp = 41 V

Imp = 13 A

إذا ربطنا 4 ألواح بالسلسلة:

جهد السلسلة = 41 × 4 = 164 V

تيار السلسلة = 13 A

نقسم الألواح على مجموع السلاسل حسب تصميم نظام Off-Grid.

## اختيار الإنفرتر

قدرة النظام = 4.4 kW

نركب إنفرتر أقل بقليل لتوفير الأمان:

مثال: إنفرتر 4 kW

هذه نفس الفكرة المستخدمة في On-Grid، نسمّيها Over-sizing للألواح.

## حساب البطاريات

نحدد سعة التخزين المطلوبة على أساس عدد ساعات التشغيل اللي نريدها بدون شمس:

نفترض: نريد يومين استقلالية كاملة

الطاقة اليومية = 16.4 kWh

يومين = 32.8 kWh

نختار نوع البطارية، نفترض ليثيوم 12 V، كل بطارية 200 Ah

سعة البطارية الواحدة = 12 × 200 = 2.4 kWh

عدد البطاريات = 32.8 ÷ 2.4 ≈ 13.66 → نركب 14 بطارية

## ملاحظات عامة

حجم النظام حسب سياسات الدولة:

في الأردن عادة يُعتمد على حجم الأحمال وليس على شبكة الكهرباء

الهدف: تلبية كامل الاستهلاك اليومي + يومين تخزين

الترتيب: الألواح → الإنفرتر → البطاريات → أحمال

## 3.نظام Hybrid منزلي مع بطاريات

### تحديد الأحمال الكهربائية

| الجهاز | القدرة (W) | ساعات تشغيل/يوم | الطاقةاليومية(Wh) |
|---|---|---|---|
| مكيف هواء | 1200 | 5 | 6000 |
| حاسوب | 200 | 8 | 1600 |
| ثلاجة | 300 | 24 | 7200 |
| إضاءة LED | 100 | 6 | 600 |
| تلفاز | 150 | 4 | 600 |
| المجموعWh ≈ 16.4 kWh 16,400 اليومي | | | |

**جدول(4) احمال كهربائية**

ملاحظة: نفس الأحمال مثل Off-Grid، بدون مضخة، مع إضافة التلفاز بدلها.

### حساب قدرة الألواح الشمسية

الطاقة اليومية المطلوبة = kWh 16.4

ساعات الذروة الشمسية ≈ 4.5 ساعات

قدرة الألواح الكلية (kW) = الطاقة اليومية ÷ ساعات الذروة

kW 3.64 ≈ 4.5 ÷ 16.4

اختيار النظام: نأخذ تقريبًا kW 4 لتوفير هامش أمان.

## تحديد عدد الألواح

قدرة اللوح الواحد = 550 W

عدد الألواح = 4000 ÷ 550 ≈ 7.27 → نركب 8 ألواح

Vmp لكل لوح = 41 V

Imp لكل لوح = 13 A

تصميم السلاسل:

ربط 4 ألواح بالسلسلة → جهد السلسلة = 41 × 4 = 164 V

تيار السلسلة = 13 A

يمكن تكوين سلاسل متعددة حسب تصميم النظام.

## اختيار الإنفرتر (Hybrid Inverter)

قدرة النظام = 4.4 kW

نختار إنفرتر Hybrid: 4 kW

يدعم تشغيل الأحمال من الشبكة أو البطاريات أو الألواح الشمسية تلقائيًا حسب توفر الطاقة.

## حساب البطاريات

نرغب بيومين استقلالية كاملة عند انقطاع الشبكة.

الطاقة اليومية = 16.4 kWh → يومين = 32.8 kWh

نوع البطارية: ليثيوم 12 V / 200 Ah

سعة البطارية الواحدة = 12 × 200 = 2.4 kWh

عدد البطاريات = 32.8 ÷ 2.4 ≈ 13.66 → نركب 14 بطارية

ترتيب البطاريات: سلسلة + توازي لتلبية جهد التيار المطلوب للنظام.

## ملاحظات عامة على النظام

Hybrid يسمح بتشغيل النظام على الشبكة أثناء توفر الكهرباء، وتفعيل البطاريات تلقائيًا عند انقطاعها.

ترتيب النظام: الألواح → الإنفرتر Hybrid → البطاريات → الأحمال → الشبكة

يمكن توسيع النظام لاحقًا بإضافة ألواح أو بطاريات لتغطية أحمال إضافية.

التصميم يعتمد على الأحمال اليومية، ساعات الذروة الشمسية، وسياسات الدولة أو شركة الكهرباء (مثلاً الأردن تعتمد على حجم النظام والاستهلاك لتحديد ترخيص Hybrid

## 4.نظام ضخ المياه الشمسي – حساب كامل

## تحديد احتياجات المضخة

ارتفاع الضخ المطلوب: 10 متر

معدل التدفق المطلوب: 5 $م^3$/يوم ≈ 5000 لتر/يوم

نوع المضخة: DC صغيرة للمزرعة

الهدف: تغذية المزرعة بالمياه حسب الحاجة اليومية.

تحويل معدل التدفق اليومي إلى معدل تدفق بالثانية

القانون:

معدل التدفق بالثانية = معدل التدفق اليومي ÷ (عدد الساعات × عدد الثواني في الساعة)

الحساب:

معدل التدفق بالثانية = 5 ÷ (24 × 3600)

معدل التدفق بالثانية ≈ 5 ÷ 86400

معدل التدفق بالثانية ≈ $5.79 \times 10^{5}$ $م^3$/ث

هذا الرقم يمثل كمية الماء التي تمر عبر المضخة في كل ثانية.

## حساب قدرة المضخة المطلوبة

القانون:

قدرة المضخة (W) = (معدل التدفق × كثافة الماء × الجاذبية × ارتفاع الضخ) ÷ كفاءة المضخة

المعطيات:

كثافة الماء = 1000 كغ/م$^3$

الجاذبية = 9.81 م/ث$^2$

ارتفاع الضخ = 10 م

كفاءة المضخة ≈ 50٪ → 0.5

الحساب خطوة خطوة:

حاصل ضرب معدل التدفق × كثافة الماء:

$5.79 \times 10^{-5} \times 1000 \approx 0.0579$

ضرب الناتج في الجاذبية:

$0.0579 \times 9.81 \approx 0.568$

ضرب الناتج في ارتفاع الضخ:

$0.568 \times 10 \approx 5.68$

قسم الناتج على كفاءة المضخة:

$5.68 \div 0.5 \approx 11.36$ W

عمليًا نأخذ مضخة 50–100 W لتغطية أي خسائر أو مقاومة في الأنابيب.

## حساب قدرة الألواح الشمسية المطلوبة

ساعات الشمس الفعالة = 5 ساعات/يوم

القانون:

قدرة الألواح (W) = قدرة المضخة ÷ ساعات الشمس

الحساب:

50 ÷ 5 = 10 W

لإعطاء هامش أمان لتغطية أي خسائر:

نأخذ تقريبًا 30 W → أي ثلاثة أضعاف الرقم النظري.

## تحديد عدد الألواح

كل لوح شمسي 100 W:

عدد الألواح المطلوب = قدرة الألواح ÷ قدرة اللوح

→ 0.3 = 100 ÷ 30 نأخذ لوح واحد عمليًا

للسلامة، يمكن تركيب لوحين لتغطية الأيام الغائمة أو انخفاض الإشعاع.

## تصميم النظام النهائي

العنصر

التصميم

الألواح الشمسية

1–2 × 100 W

المضخة

50–100 W DC

التوصيل

مباشر DC أو عبر إنفرتر صغير

البطاريات

اختيارية لتخزين الطاقة

## الملاحظات العامة

تصميم النظام يعتمد على: ارتفاع الضخ، معدل التدفق، ساعات الشمس، وكفاءة المضخة.

يمكن تعديل عدد الألواح لتغطية أي زيادة في استهلاك المياه أو خسائر النظام.

هذا المثال يغطي مزرعة صغيرة، ويمكن تكبيره بنفس الطريقة للمزارع الكبيرة.

# 2.الأنظمة الحراية

## حسابات إمداد الطاقة الحرارية لسخان شمسي

السخان الشمسي يحوّل الإشعاع الشمسي إلى طاقة حرارية لرفع درجة حرارة الماء داخل الخزان.

## الطاقة الحرارية المطلوبة:

$$Q = m * c * \Delta T$$

حيث:

Q = الطاقة الحرارية (جول)

m = كتلة الماء (كغ)

c = الحرارة النوعية للماء = 4186 جول لكل كغ لكل درجة مئوية

$\Delta T$ = فرق درجة الحرارة المطلوب (°م)

## مثال تطبيقي

عائلة 4 أشخاص الاستهلاك اليومي: 4 أشخاص * 50 لتر = 200 لتر درجة حرارة الماء البارد = 15°م درجة الحرارة المطلوبة = 55°م

فرق الحرارة:55 = ΔT - 15 = 40°م

كتلة الماء:كل 1 لتر ≈ 1 كغ → 200 لتر ≈ 200 كغ

## الطاقة المطلوبة

40 * 4186 * Q = 200

Q = 33,488,000 جول

نحوّل إلى كيلوواط ساعة:

1 كيلوواط ساعة = 3,600,000 جول

Q = 33,488,000 ÷ 3,600,000 ≈ 9.3 كيلوواط ساعة يوميًا

## حساب مساحة المجمع الشمسي

الإشعاع الشمسي المتوسط: 5 كيلوواط ساعة لكل متر مربع يوميًا

كفاءة المجمع ≈ 60%

## الطاقة الفعلية لكل متر مربع:

5 * 0.6 = 3 كيلوواط ساعة لكل متر مربع يوميًا

## المساحة المطلوبة:

مساحة المجمع = الطاقة المطلوبة ÷ طاقة المتر المربع

مساحة المجمع = 9.3 ÷ 3 ≈ 3.1 متر مربع

## حساب حجم الخزان

قاعدة عامة: كل شخص 50 - 80 لتر

حجم الخزان ≈ 200 - 250 لتر

## حساب القدرة الحرارية اللحظية

إذا مدة التسخين الفعلي = 5 ساعات شمسية فعالة:

القدرة الحرارية = الطاقة المطلوبة ÷ الزمن

$P = 9.3 \div 5 \approx 1.86$ كيلوواط حراري

6. ملخص سريع للمنزل 4 أشخاص

استهلاك الماء اليومي: 200 لتر

فرق الحرارة $\Delta T = 40$°م

الطاقة المطلوبة $Q \approx 9.3$ كيلوواط ساعة يوميًا

مساحة المجمع المطلوبة ≈ 3 - 3.5 متر مربع

حجم الخزان ≈ 200 - 250 لتر

القدرة الحرارية اللحظية ≈ 1.8 - 2 كيلوواط

## اعتبارات تصميمية متقدمة

معامل الأمان (Safety Factor):

زيادة 15% - 25% على المساحة لحالات الغيوم وفقدان الحرارة.

→ مساحة تركيب فعلي ≈ 3.5 - 4 متر مربع

## زاوية الميل وتأثير الإنتاج:

الإنتاج الفعلي يختلف بين الصيف والشتاء

التصميم غالبًا على أساس أسوأ شهر في السنة (ديسمبر)

## كفاءة النظام الكلية:

كفاءة النظام = كفاءة المجمع * كفاءة الأنابيب * كفاءة الخزان ≈ 0.64

## زمن التسخين الفعلي / ساعات شمس الذروة:

الأردن: 4.5 - 6 ساعات

أوروبا: 3 - 5 ساعات

الخليج: 5 - 6.5 ساعات

## تأثير درجة حرارة الجو:

كلما كان الجو أبرد → تقل كفاءة المجمع المسطح

أنابيب مفرغة أفضل للمناطق الباردة

## فاقد الحرارة من الخزان (تقريبي):

$Q_loss = U * A * \Delta T * t$

حيث:

U = معامل انتقال الحرارة للخزان

A = مساحة سطح الخزان

ΔT = فرق درجة الحرارة بين الماء والجو

t = الزمن

## حجم الخزان نسبةً لمساحة المجمع:

لكل 1 متر مربع مجمع → 60 - 80 لتر خزان

## تمدد الماء والضغط (للنظام المغلق):

خزان تمدد (Expansion Tank)

صمام أمان (Pressure Relief Valve)

## معامل الاستخدام اليومي:

إذا الاستخدام موزع طول اليوم → تصميم مختلف عن الاستخدام دفعة واحدة

تصميم على المتوسط السنوي أم أسوأ شهر:

تصميم اقتصادي: متوسط سنوي

تصميم مضمون: أسوأ شهر → ضمان التسخين في الشتاء

## أنظمة الطاقة الشمسية الحرارية المركزة (CSP) – حسابات مبسطة

CSP = تركيز الإشعاع الشمسي على سائل ناقل حرارة → حرارة عالية → تحويل الحرارة إلى كهرباء أو استخدام حراري.

الفكرة مشابهة لسخان الشمس لكن بقدرات أكبر ودرجات حرارة أعلى.

الهدف: تبسيط الحسابات لتقدير الطاقة المطلوبة والمساحة والتخزين بدون الخوض في تصميم محطة كاملة.

## المكونات الأساسية

مرايا أو ألواح عاكسة: تركّز أشعة الشمس

أنبوب ناقل الحرارة / سائل ناقل الحرارة: ينقل الحرارة إلى الخزان أو التوربين

خزان حراري للتخزين: يسمح بالعمل بعد الغروب

توربين / مولد كهربائي: لتحويل الحرارة إلى كهرباء

نظام تتبع الشمس: يحرك المرايا لضمان أعلى تركيز

## الحسابات الأساسية CSP (مبسطة)

الطاقة الحرارية المطلوبة (تقريبية):

$Q = m * c * \Delta T$

m = كتلة السائل (كغ)

c = الحرارة النوعية للسائل (جول لكل كغ لكل درجة مئوية)

ΔT = فرق درجة الحرارة المطلوب (°م)

## مثال تطبيقي

كمية السائل: 1000 لتر (≈1000 كغ)

درجة الحرارة الابتدائية: 30°م

درجة الحرارة المطلوبة: 350°م

فرق الحرارة: ΔT = 350 - 30 = 320°م

Q = 1000 * 4186 * 320 ≈ 1,339,520,000 جول

تحويل إلى كيلوواط ساعة: Q ≈ 372 كيلوواط ساعة حرارية

حساب الطاقة الشمسية اليومية لكل متر مربع:

الإشعاع الشمسي المتوسط: 5 كيلوواط ساعة/م²/يوم

كفاءة النظام: 60%

الطاقة الفعلية لكل متر مربع = 5 * 0.6 ≈ 3 كيلوواط ساعة/م²/يوم

المساحة المطلوبة:

مساحة = الطاقة المطلوبة ÷ طاقة المتر المربع

مساحة ≈ 372 ÷ 3 ≈ 124 م²

ملاحظة: هذه أرقام تقريبية لتوضيح الفكرة، التصميم الواقعي لمحطة CSP كبير ومعقد.

## اعتبارات تصميمية مبسطة

كلما زادت درجة حرارة التشغيل → كفاءة أعلى، لكن التكلفة أكبر.

خزان التخزين الحراري يسمح بتشغيل النظام بعد الغروب.

تتبع الشمس ضروري لتحقيق تركيز الطاقة المطلوبة.

المساحة المطلوبة كبيرة مقارنة بالسخانات المنزلية، لكنها تقديرية للفكرة.

يمكن استخدام سائل ناقل حرارة مختلف حسب درجة الحرارة المطلوبة: ملح مصهور (حرارة عالية وتخزين طويل) أو زيت حراري (حرارة أقل، تكلفة أقل).

# قرأة البيانات Datasheet

## لوح شمسيJinko — تقريباً . 500 W

## المواصفات الكهربائية الأساسية

القيمة النموذجية

Power (Pmax) القدرة القصوى تحت ظروف الاختبار القياسية~500 W

Open-Circuit Voltage (Voc) جهد الدائرة المفتوحة~43–45 V

Voltage at Max Power (Vmpp)جهد عند أقصى قدرة~36–44 V

Current at Max Power (Impp)تيار عند أقصى قدرة~13–14 A

Short-Circuit Current (Isc)~13–14 A

Efficiency تحويل الطاقة(~21 % تقريباً )

Temperature Coefficientمعامل الحرارة(-0.29 %/°C تقريباً

## مواصفات ميكانيكية

نوع الخلايا: N-type / TOPCon أحادي البلورة

عدد الخلايا: 120 خلية تقريباً

الأبعاد: ~1906 × 1134 × 30 mm

الوزن: ~22.5 kg

حماية Junction Box: IP68

أقصى جهد نظام: غالبًا ~1500 V حسب التصميم

## فهم الأرقام:

Voc مهم لتحديد عدد اللوحات في سلسلة (String) بحيث لا تتجاوز مدخلات العاكس.

Vmpp و Impp تستخدم لحساب القدرة الفعلية المتوقعة في ظروف التشغيل.

Temperature Coefficient يبيّن كيف يقل الأداء عند ارتفاع الحرارة.

## عاكس شمسيHybrid هجين Inverter ~10 kW

## المواصفات الأساسية النموذجية

Peak AC Output Power القدرة الاسمية(~10 (AC) kW

نطاق جهد مدخل الألواح PV Input Voltage~360 VDC قد يصل حتى ~500V

أقصى تيار PV~22 A لكل MPPT تقريباً

عدد قنوات MPPT

قنوات تتبع Maximum Power Point Tracking

Battery Input Voltage Range~42–60 V (للهجين مع بطاريات 48 V)

Max PV Charging Current~180 A

Max AC Charging Current~120 A

Peak Conversion Efficiency (efficiency)~94 %

Output Voltage (AC)~220/230/240 V AC @ 50/60 Hz

وظائف متعددة في هجينة Hybrid Inverter

يمكنه العمل على الشبكة (Grid-tied) لتصدير الطاقة.

يمكنه العمل خارج الشبكة (Off-grid) مع البطارية عند انقطاع الكهرباء.

يمكنه العمل في وضع هجيني Hybrid لتخزين الطاقة واستخدامها لاحقاً.

مزايا إضافية في بعض الأنواع تشمل wi-fi/RS485 للمراقبة والتحكم.

## لوح شمسي Datasheet يوضح:

القدرة الاسمية (Pmax).

الجهد والتيار (Voc, Vmpp, Isc, Impp) لتصميم السلاسل Strings.

الكفاءة ومعامل الحرارة لتوقع الأداء الحقيقي.

المتانة والحماية.

## عاكس Datasheet (Inverter) يوضح:

نطاق جهد مدخل الألواح.

عدد مسارات MPPT وكيفية التعامل مع الجهد والتيار.

المقدار الأقصى للطاقة الخارجة (AC).

توافق مع البطاريات وأنظمة الشبكة.

## كيف تستخدم هذه البيانات عملياً؟

قبل اختيار العاكس، احسب جهد ومجموع التيار لكل سلسلة ألواح وتاكد أنها تناسب نطاق الجهد المدخل Inverter PV Input Voltage.

عدد اللوحات في سلسلة ما لازم يخلي Voc الكلي أكثر من الحد الأقصى الذي يقبله العاكس.

لو تخطط لاستخدام بطاريات، تحقق من Battery Voltage Range في الـ inverter datasheet.

# السلامة المهنية والمعايير الفنية في أنظمة الطاقة الشمسية

تُعد أنظمة الطاقة الشمسية من الأنظمة الكهربائية التي تعمل بجهود وتيارات مستمرة (DC) قد تكون عالية وخطرة، لذلك فإن الالتزام بالسلامة المهنية والمعايير الفنية ليس خيارًا إضافيًا، بل شرط أساسي لضمان سلامة الأفراد وحماية الممتلكات واستمرارية عمل النظام بكفاءة.

إن أي تصميم أو تنفيذ لنظام شمسي يجب أن يستند إلى معايير عالمية معتمدة، وأن يراعي متطلبات شركات الكهرباء والجهات التنظيمية في الدولة.

## مطابقة المكونات للمعايير الدولية

يجب أن تكون جميع مكونات النظام معتمدة ومطابقة لمواصفات قياسية معترف بها دوليًا.

## 1.الألواح الشمسية

ينبغي أن تكون الألواح مطابقة لمعايير مثل:

IEC 61215 (اختبارات الأداء والمتانة)

IEC 61730 (متطلبات السلامة الكهربائية)

هذه المعايير تضمن قدرة اللوح على تحمل الظروف البيئية مثل الحرارة، الرطوبة، الرياح، والضغط الميكانيكي.

## 2.الإنفرترات

يجب أن تكون معتمدة وفق معايير التوافق مع الشبكة، والحماية من الجهد الزائد، ومتطلبات التزامن مع الشبكة العامة.

3. الكابلات والموصلات

كابلات DC يجب أن تكون مخصصة للأنظمة الكهروضوئية، مقاومة للأشعة فوق البنفسجية والحرارة العالية.

الموصلات (مثل MC4) يجب أن تكون أصلية ومتوافقة، وعدم خلط أنواع مختلفة لتجنب ارتفاع المقاومة أو حدوث قوس كهربائي.

## متطلبات السلامة الكهربائية

## 1.التأريض (Earthing)

يجب تأريض جميع الأجزاء المعدنية في النظام، بما في ذلك:

هياكل التثبيت

إطارات الألواح

صناديق التجميع

هيكل الإنفرتر

يهدف التأريض إلى حماية الأشخاص وتقليل مخاطر الصدمات الكهربائية.

## 2.الحماية من التيار الزائد والقصر الكهربائي

يجب تركيب:

قواطع DC

قواطع AC

فيوزات مناسبة لكل سلسلة عند الحاجة

ويجب اختيارها بناءً على القيم الفعلية للتيار وليس بشكل عشوائي.

## 3. الحماية من الجهد الزائد (SPD)

توضع أجهزة الحماية من زيادة الجهد لحماية النظام من تأثيرات الصواعق أو اضطرابات الشبكة.

## 4.الحماية من القوس الكهربائي (Arc Fault)

دوائر التيار المستمر أكثر عرضة لاستمرار القوس الكهربائي، لذلك يجب التأكد من جودة التوصيلات واستخدام معدات معتمدة تقلل هذا الخطر.

## متطلبات التركيب الهندسي

### 1.تثبيت الهياكل

يجب تصميم الهياكل لتحمل:

أحمال الرياح

الأحمال الميتة

العوامل البيئية

ويجب تثبيتها بطريقة لا تؤثر على سلامة المبنى.

### 2.تنظيم الكابلات

يجب عدم ترك الكابلات مكشوفة أو معلقة.

استخدام قنوات أو حوامل مناسبة.

تجنب ملامسة الحواف الحادة.

### 3.التوسيم والتعريف

يجب وضع ملصقات واضحة تبين:

وجود جهد DC

اتجاه التيار

مواقع القواطع

مخطط النظام

هذا يسهل أعمال الصيانة ويزيد من مستوى الأمان.

## متطلبات شركات الكهرباء (الربط على الشبكة)

عند ربط النظام بالشبكة العامة، تشترط شركات الكهرباء عادةً:

إنفرتر معتمد ومتوافق مع كود الشبكة المحلي.

نظام حماية ضد فصل الشبكة (Anti-Islanding).

قاطع فصل رئيسي قريب من العداد.

مخطط أحادي الخط (Single Line Diagram).

تقارير فحص واختبار قبل التشغيل.

هذه المتطلبات تضمن أن النظام لا يشكل خطرًا على الشبكة أو على فرق الصيانة.

## الفحص والاختبار قبل التشغيل

قبل تشغيل النظام رسميًا، يجب إجراء:

1,فحص استمرارية التأريض

2.قياس الجهد لكل سلسلة

3.التحقق من القطبية

4.التأكد من إحكام جميع التوصيلات

5.اختبار عمل القواطع وأجهزة الحماية

لا يُعتبر النظام جاهزًا للتشغيل إلا بعد اجتياز هذه الاختبارات.

إن الالتزام بالسلامة والمعايير المهنية هو الأساس الذي يُبنى عليه أي نظام شمسي ناجح.

فالتصميم الجيد لا يكتمل دون تنفيذ آمن، والتنفيذ الآمن لا يتحقق دون فهم المعايير الفنية المعتمدة.

المهندس المحترف لا يكتفي بتركيب النظام، بل يضمن أن يكون النظام مطابقًا للمواصفات، آمنًا في التشغيل، ومستدامًا على المدى الطويل.

# طرق تنظيف الألواح الشمسية

## الألواح الكهروضوئية

تجاوزت الطاقة الكهروضوئية المنتجة عالميًا حاليًا 500 جيجاوات، ومع انخفاض تكاليف الإنتاج المستمر، وزيادة كفاءة الخلايا الشمسية، واستمرار الدعم الحكومي في العديد من الدول، من المتوقع أن توفر الطاقة الشمسية الكهروضوئية حوالي 16٪ من إجمالي الكهرباء المنتجة عالميًا بحلول عام 2050.

تعاني المناطق ذات الموارد الشمسية العالية والمناخ الجاف، مثل الصين والهند، والدول في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا، من خسائر كبيرة في توليد الطاقة بسبب تلوث الهواء. وتشير الدراسات إلى أن تلوث الألواح الكهروضوئية قد يكون أكبر تهديد لعمليات توليد الكهرباء، وأن تأثير الجسيمات العالقة في هذه المناطق أكبر من تأثير الغيوم في المناطق الغائمة مثل أيسلندا والنرويج.

تقع معظم المناطق الغنية بالطاقة الشمسية في المناطق شبه الاستوائية الجافة، حيث يكون الهواء غنيًا بالتلوث والغبار، مما يؤثر على إنتاجية الألواح الشمسية. في هذه المناطق، أصبح تنظيف الألواح الشمسية أمرًا بالغ الأهمية لتقليل خسائر الطاقة.

## أهمية تنظيف الألواح الشمسية

يُبرز تنظيف الألواح دوره في تقليل فقدان الطاقة الكهربائية، حيث يؤدي تراكم الغبار والأوساخ والشوائب الأخرى إلى انخفاض كفاءة الألواح وبالتالي تقليل إنتاج الطاقة. كما يزيد تراكم الأوساخ من احتمالية حدوث أعطال مثل النقاط الساخنة. لذلك، يسهم الحفاظ على نظافة الألواح في إطالة عمرها وضمان استمرار عملها بكفاءة طوال فترة تشغيلها.

## 1.التنظيف الجاف

يشيع هذا النوع من التنظيف في المناطق الصحراوية بسبب ندرة المياه أو صعوبة توفرها. من عيوب التنظيف الجاف أنه قد يسبب خدوشًا على سطح الألواح الزجاجي إذا لم تُتبع تعليمات الشركة المصنعة، مما قد يؤدي إلى تلف دائم للألواح.

## 2.لتنظيف الرطب

يُستخدم هذا النوع في المناطق القريبة من مصادر المياه، أو في الأنظمة المنزلية التي يسهل الوصول لألواحها. يمكن استخدام الماء أو سوائل تنظيف أخرى حسب نوع البقع. على سبيل المثال، إذا كانت الألواح بالقرب من المطارات، فقد تتكون بقع زيتية لا يمكن إزالتها بالماء، وهنا تُستخدم المذيبات العضوية مثل البروبلين لإزالة الشوائب.

## نقاط يجب مراعاتها عند تنظيف الألواح

1.التأكد أن المواد المستخدمة في الفرشاة أو قطعة القماش غير موصلة للكهرباء لتجنب الصدمات.

2.لتأكد من تنظيف اللوح بالكامل.

3.التأكد من قدرة الألواح على تحمل الضغط المطبق من آلية التنظيف وفق تعليمات الشركة المصنعة.

4.عند استخدام الماء، الانتباه بعدم دخول الماء إلى صناديق التوصيل لتجنب تلف الدائرة الكهربائية.

5.فصل الدائرة الكهربائية قبل التنظيف لتجنب أي صدمات كهربائية.

6.عند التنظيف اليدوي، عدم المشي على الألواح لتجنب تكوّن شقوق صغيرة في الزجاج تؤدي لاحقًا إلى كسر الألواح.

7.التأكد من توافق معدات التنظيف مع نوع الألواح الموجودة.

## أنواع أنظمة التنظيف

## 1.أنظمة التنظيف المركبة على شاحنات

تتكون من شاحنة مجهزة بفرشاة كبيرة تتحرك بين صفوف الألواح.

**المميزات:**

1.عامل واحد مدرّب يمكنه تشغيل النظام.

2.نظام تحكم خاص لتنظيم الضغط لتجنب تلف الألواح.

**الاعتبارات:**

1.يجب أن تُركّب الألواح في صفوف تسمح بمرور الشاحنة (عادة بين 2.5 و3 أمتار).

2.ترك مساحة في نهاية الصفوف لتمكين الشاحنة من الدوران.

3.مراعاة وزن جهاز الفرشاة وفق معايير الشركة المصنعة.



**شكل(38) صورة نظام تنظيف مركبة على شاحنة**

## 1.أنظمة التنظيف شبه الآلية

تُركّب الأجهزة في بداية كل صف من الألواح، ويبدأ التنظيف تلقائيًا في اتجاه واحد.

**المميزات:**

1.سهلة الفك والتركيب عند الحاجة.

2.تعمل بالبطاريات الخاصة، يمكن تخزينها عند عدم الحاجة.



شكل(39) نظام تنظيف  شبه آلي

## 3.أنظمة التنظيف الآلية بالكامل

تُركّب الأجهزة في بداية الصفوف، وتتحرك تلقائيًا لتنظيف الصف بأكمله وتعود لموقعها بعد الانتهاء.

## المميزات:

1.مزودة بحساسات لتتبع الطقس وتجنب العمل في ظروف غير مناسبة (مثل العواصف).

2.مزودة ببطارية خاصة وبعض الأنظمة تتحرك ضمن الصفوف تلقائيًا.



شكل(40) نظام تنظيف آلي

## 4.أنظمة التنظيف المحمولة

أجهزة صغيرة تصل لمساحة متر مربع وتتحرك على سطح الألواح، مناسبة للأنظمة السطحية وأنظمة تتبع الشمس.

### المميزات:

1.تعمل تلقائيًا ومزودة بحساسات لمعرفة حدود النظام.

2.بعض النماذج تتحكم بها عن بعد.



**شكل(41) نظام تنظيف محمول**

## 5.التنظيف اليدوي

يبقى خيارًا ممتازًا في العديد من الحالات رغم مخاطره، خصوصًا في المحطات الصغيرة أو عند توفر قوة عاملة منخفضة التكلفة.

### المميزات:

1.اقتصادي.

2.خلق فرص عمل للمجتمع المحلي، خصوصًا في المناطق الفقيرة.



شكل(41) نظام تنظيف يدوي

## التنظيف الدوري للألواح

أظهرت الدراسات أن التنظيف الموسمي يزيد كفاءة الألواح بشكل ملحوظ، خاصة في شمال أفريقيا والشرق الأوسط حيث قلة الأمطار. التنظيف الدوري يقلل تأثير الجسيمات العالقة على كفاءة الألواح، ويسهم على المدى الطويل في تحسين إنتاجية الطاقة. الفائدة الأكبر للتنظيف الدوري تكون في المناطق الصحراوية مثل شمال أفريقيا والشرق الأوسط وغرب الصين، حيث يمكن أن يزيد الكفاءة في مصر بنسبة تصل إلى 400٪، وفي السعودية حوالي 150٪، وفي الجزائر والهند وشمال غرب الصين بين 70–90٪.

## الابتكارات الحديثة في تنظيف الألواح

## ابتكار Nomad

يعتمد على استخدام ضغط الهواء بدل الماء، مناسب للمناطق الصحراوية، ويعمل بالطاقة الشمسية بشكل دوري وثابت على الألواح.



شكل(42) صورة لنظام تنظيف يعمل بابتكار نوماد

## تقنية Solar Beatzocaine

هي مادة مضغوطة متقدمة على شكل صفائح بلاستيكية مزودة بأسلاك كهربائية، تُركّب على الألواح لتشكّل حاجزًا ضد الغبار. عند تفعيلها بالكهرباء، تزيل الغبار والرطوبة. ابتكرها المهندس الأردني ماهر ميمون والمهندسة تالا نصرون، مع إمكانية الاستفادة من الإنترنت وحساسات البيانات لتحسين استخدام الألواح.




شكل(43) صورة توضيحية لتقنية Solar Beatzocain

من المهم تنظيف الألواح بشكل دوري وبعد العواصف أو التلوث. تختلف وتيرة التنظيف حسب الطقس، ويُنصح بالقيام به في الصباح الباكر أو باستخدام الماء البارد لتجنب تأثير الفارق الحراري. يجب دائمًا مراقبة الألواح لضمان اكتشاف الأوساخ قبل تراكمها بشكل كبير، فطاقة الفوتوفولتيك صديقة للبيئة واقتصادية، والعالم بحاجة ماسة إليها في ظل استنزاف مصادر الطاقة غير المتجددة. تعتبر المنطقة العربية، بما فيها الأردن، من أكثر المناطق ملاءمة للاستثمار في مشاريع الطاقة الشمسية نظرًا لامتداد الصحاري فيها

# إرشادات صيانة أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية (PV)

## صيانة الألواح الشمسية

1.تنظيف الألواح دوريًا (حسب الغبار والمنطقة)

2.استخدام ماء غير مالح وأدوات ناعمة

3.فحص وجود:

تشققات

Hot Spots

تغير لون الخلايا

4.التأكد من عدم وجود ظل جديد (أشجار – مباني)

## ملاحظة مهمة:

أي تراجع مفاجئ بالإنتاج قد يدل على مشكلة في سلسلة (String) معينة.

1.صيانة التوصيلات الكهربائية

2,فحص كابلات DC للتأكد من:

3.عدم وجود تشقق بالعازل

4.عدم وجود قوارض

5.التأكد من إحكام MC4 Connectors

6.قياس الجهد المفتوح Voc دوريًا

7.فحص مقاومة التأريض

## صيانة الشدّات والهياكل

1.إعادة شد البراغي

2.فحص التآكل والصدأ

3.التأكد من عدم وجود اهتزازات

## صيانة صندوق التجميع (Combiner Box)

1.فحص الفيوزات

2.فحص SPD

3.التأكد من عدم وجود آثار احتراق

## فحص المضخة ووحدة التحكم

1.اتأكد من عمل الحساسات

2.فحص درجة حرارة الدخول والخروج

3.التأكد من فرق الحرارة (ΔT)

## إرشادات صيانة الأنظمة الحرارية

## سخانات شمسية

1.فحص الخزان

2.التأكد من عدم وجود تسريب

3.فحص صمام الأمان

4.فحص طبقة العزل

5. فحص المجمعات الحرارية

6.التأكد من سلامة الزجاج

7.تنظيف السطح

8.فحص وجود ترسبات داخل الأنابيب

9. فحص سائل النقل الحراري

10.قياس نسبة الجلايكول

11,التأكد من عدم تغيّر اللون

12.تفريغ الهواء من النظام

## دور الإنفرتر في تشخيص الأعطال

الإنفرتر مش بس محوّل طاقة… هو جهاز مراقبة ذكي.

### مراقبة الجهد والتيار

### الإنفرتر يعرض:

1.جهد كل MPPT

2.تيار كل سلسلة

3.القدرة اللحظية

4.إجمالي الإنتاج اليومي

لو كان في:

فرق جهد بين سلسلتين → احتمال وجود فصل أو ظل

تيار منخفض → ممكن في لوحة متضررة

## رسائل الأعطال (Fault Codes)

الإنفرترات الحديثة مثل:

SMA Solar Technology

Huawei

Fronius International

تعطيك:

Grid Fault

Isolation Fault

Over Temperature

DC Over Voltage

Ground Fault

كل كود بيعطيك اتجاه المشكلة قبل ما تفتح النظام.

## معنى أشهر رسائل الأعطال

# Grid Faul

المعنى: خلل في شبكة الكهرباء العامة.

التفسير الفني: الجهد أو التردد الخارج عن الحدود المسموح بها.

الأسباب المحتملة:

1.انخفاض أو ارتفاع جهد الشبكة.

2,انقطاع مؤقت في التغذية.

3.خلل في التردد.

الإجراء الفني المقترح:

1.قياس جهد الشبكة.

2.التأكد من مطابقة القيم للمواصفات المحلية.

انتظار استقرار الشبكة قبل إعادة التشغيل.

# Isolation Fault

المعنى: ضعف في العزل الكهربائي بين التيار والأرضي.

التفسير الفني: تسرب تيار نتيجة رطوبة أو تلف عازل.

الأسباب المحتملة:

1,كابل متشقق.

2.دخول مياه إلى التوصيلات.

3.تلف داخل أحد الألواح.

4.الإجراء الفني المقترح:

5.قياس مقاومة العزل.

6.فحص الكابلات والوصلات.

7.استبدال الجزء المتضرر.

## Over Temperature

المعنى: ارتفاع درجة حرارة الإنفرتر.

التفسير الفني: تجاوز درجة الحرارة الحد المسموح.

الأسباب المحتملة:

1.تهوية غير كافية.

2.تركيب في مكان مغلق.

3.تراكم غبار على فتحات التهوية.

الإجراء الفني المقترح:

1.تحسين التهوية.

2.تنظيف فتحات التبريد.

3,التأكد من المسافة الموصى بها حول الجهاز.

## DC Over Voltage

المعنى: ارتفاع جهد التيار المستمر الداخل للإنفرتر.

التفسير الفني: الجهد الناتج عن السلسلة الشمسية تجاوز الحد الأعلى للإنفرتر.

الأسباب المحتملة:

1.عدد ألواح أكبر من المسموح في السلسلة.

2.انخفاض شديد في درجة الحرارة أدى لارتفاع Voc.

3.الإجراء الفني المقترح:

4.مراجعة الحسابات التصميمية.

5.تقليل عدد الألواح في كل سلسلة عند الحاجة.

## Ground Fault

المعنى: تماس كهربائي مع الأرضي.

التفسير الفني: وجود تسرب تيار إلى الهيكل المعدني أو الأرضي.

الأسباب المحتملة:

1.تلف عازل كابل.

2.تماس داخل صندوق التجميع.

3.رطوبة عالية.

الإجراء الفني المقترح:

1.فصل السلاسل تدريجيًا لتحديد مصدر الخلل.

2.قياس العزل لكل سلسلة على حدة.

## المنهجية المعتمدة لتحليل رسائل الأعطال

لأغراض التوثيق المؤسسي والاعتماد الرسمي، يُوصى باتباع التسلسل التالي:

1.تسجيل رسالة العطل كما ظهرت.

2.تدوين التاريخ والوقت.

3.مقارنة القراءات الحالية بالقراءات التصميمية.

4.إجراء فحص بصري للنظام.

5.تنفيذ القياسات اليدوية عند الحاجة.

6.توثيق الإجراء التصحيحي.

هذا الأسلوب يضمن معالجة منظمة وعلمية للمشكلة، ويُعد من الممارسات المعترف بها ضمن المعايير الدولية للطاقة والأنظمة الكهربائية، ومنها معايير:

International Electronically Commission

American Society of Civil Engineers

## تحليل الأداء عبر التطبيقات

الإنفرتر يعطيك:

1,مقارنة إنتاج يومي

2.مقارنة شهرية

3.رسم بياني لحظي

لو شفت: هبوط تدريجي بالإنتاج ← غالبًا تراكم غبار

هبوط مفاجئ ← غالبًا عطل فني

## حماية ذاتية

الإنفرتر:

1.يفصل عند ارتفاع الحرارة

2.يفصل عند زيادة الجهد

3.يفصل عند فقدان الشبكة (Anti-Islanding)

هاي بتحمي النظام والمستخدم.

## الفرق في الأعطال بين PV والحراري

| نوع النظام | كهروضوئي | حراري |
|---|---|---|
| الأعطال الشائعة | ضعف إنتاج – فصل سلسلة – عطل إنفرتر | تسريب – ضعف تسخين – هواء داخل الأنابيب |

**جدول(5) الفرق في الأعطال بين PV والحراري**

تمثل الصيانة الدورية لأنظمة الطاقة الشمسية حجر الأساس في ضمان استمرارية الأداء وكفاءة الاستثمار طويل الأمد. فالأنظمة الكهروضوئية والحرارية، رغم اعتمادها على مصدر طاقة طبيعي ومتجدد، تظل منظومات هندسية تتطلب متابعة منهجية دقيقة للحفاظ على موثوقيتها.

إن الجمع بين إجراءات الصيانة الوقائية، والمراقبة المنتظمة لمؤشرات الأداء، والاستفادة من قدرات الإنفرتر في تشخيص الأعطال، يكوّن منظومة متكاملة لإدارة المخاطر التقنية وتقليل فترات التوقف غير المخطط لها. وبهذا يتحول الإنفرتر من مجرد جهاز تحويل كهربائي إلى أداة تحليل ومراقبة تدعم القرار الفني المبني على البيانات.

إن اعتماد هذا النهج المنظم يعزز ثقافة الجودة في مشاريع الطاقة المتجددة، ويرسّخ مبدأ الإدارة الواعية للموارد، ويؤكد أن التحول نحو الطاقة الشمسية لا يقتصر على الإنتاج، بل يشمل كذلك صون المنظومة التشغيلية وضمان استدامتها ضمن إطار علمي مسؤول.

# مدخل إلى برامج تصميم أنظمة الطاقة الشمسية

كما ذكرنا سابقًا، البرامج المتخصصة لتصميم أنظمة الطاقة الشمسية هي أدوات تسهّل على المهندس أو الفني عملية المحاكاة وتحليل النتائج بسرعة ودقة، لكنها تعتمد كليًا على المعرفة الأساسية التي اكتسبها المتدرب حول الأحمال، الزوايا، الظل، الألواح، الإنفرترات، والبطاريات.

هذا الفصل يعطي فكرة عامة عن أبرز البرامج، خصائصها، واستخداماتها، لتكوين قاعدة معرفية قبل البدء بتعلم أي برنامج عمليًا.

## أنواع برامج تصميم أنظمة الطاقة الشمسية

هناك عدة برامج متاحة، تختلف في دقتها، واجهة المستخدم، والميزات التي تقدمها:

## 1. System PV

الخصائص: برنامج شامل للمحاكاة وتحليل إنتاج الطاقة، يوفر رسوم بيانية لتقييم الخسائر والتأثيرات المختلفة، ويتيح دراسة الأنظمة الصغيرة والكبيرة.

الاستخدام: يستخدم لتصميم الأنظمة المنزلية والتجارية والصناعية، ويعتبر مرجعًا للتحقق من أداء الأنظمة قبل التركيب.

## 2. PVSOL

الخصائص: برنامج ثلاثي الأبعاد يتيح محاكاة تأثير الظل بدقة على الألواح، ويقدم رسوم متحركة للعرض البصري.

الاستخدام: مناسب لتصميم الأنظمة المعقدة، خاصة تلك التي تتأثر بالظلال أو تحتاج لتصميم بصري للموقع.

## 3. Homer Energy

الخصائص: يركز على تحليل الأنظمة الهجينة (Hybrid Systems) التي تجمع بين الطاقة الشمسية والبطاريات والمصادر الأخرى.

الاستخدام: مفيد لمزارع الطاقة الشمسية الصغيرة والكبيرة، والأنظمة المنفصلة عن الشبكة (Off-Grid) أو الهجينة.

## 4. SketchUمع إضافات الطاقة الشمسية

الخصائص: برنامج تصميم ثلاثي الأبعاد عام، يمكن إضافة ملحقات خاصة بمحاكاة الطاقة الشمسية والزوايا والظل.

الاستخدام: يستخدم لتصميم بصري ومكاني للمشاريع، مع إمكانية تقدير الظل واتجاهات الألواح.

## 5. Homer Grid

الخصائص: نسخة متقدمة لتحليل الشبكات، تتيح دراسة ربط الأنظمة الشمسية بالشبكة الكهربائية وتقييم الأداء الاقتصادي.

الاستخدام: للشركات والمشاريع الكبيرة التي تحتاج تقييم مالي وتقني قبل التنفيذ.

## ملخص الخصائص الأساسية للبرامج

بشكل عام، جميع برامج تصميم الأنظمة الشمسية توفر:

إدخال بيانات الأحمال والموقع الجغرافي

تحديد نوع الألواح والإنفرتر والبطاريات

محاكاة الإنتاج السنوي للطاقة

دراسة تأثير الظل وزاوية الميل

تحليل الخسائر والتقارير الرسومية

بعض البرامج تتيح تحليل اقتصادي وتقدير العائد الاستثماري

## الهدف من التعرف على البرامج

الهدف من هذا الفصل هو إعطاء فكرة عامة للمتدرب عن الأدوات المتاحة، بحيث يكون على دراية بما يمكن أن يفعله كل برنامج، وما نوع البيانات التي يتطلبها.

البرامج أداة، لكنها تعتمد على فهم المتدرب للأساسيات. المعرفة السابقة التي اكتسبها في الحسابات اليدوية والداشيتات والمبادئ النظرية تمكنه من استخدام هذه البرامج بكفاءة وفهم النتائج بشكل صحيح.

## مثال تطبيقي مبسط: تصميم نظام 10kW

لنفترض أننا نريد تصميم نظام شمسي بقدرة 10kW لمنزل أو مشروع صغير. الهدف من المثال ليس تدريب على برنامج معين، بل توضيح كيفية ربط المعرفة الأساسية مع البيانات التي تدخلها البرامج.

خطوات تصميم مبسطة:

### تحديد الاستهلاك اليومي:

نفترض أن المنزل يستهلك حوالي 50 kWh يوميًا.

هذا الرقم يستخدم لتقدير حجم النظام وعدد الألواح المطلوبة.

اختيار نوع الألواح:

لوح شمسي 500W من شركة Jinko، على سبيل المثال.

المعرفة بالـ Voc و Isc و Vmpp و Impp تساعدنا على حساب عدد الألواح لكل سلسلة (String) وعدد السلاسل المطلوبة.

### تحديد نوع الإنفرتر:

إنفرتر 10kW من شركة TFY، مع مدخلات MPPT متوافقة مع مواصفات الألواح.

فهم حدود الإنفرتر ضروري لضمان عدم تجاوز الجهد أو التيار.

### تقدير عدد الألواح:

القدرة المطلوبة ÷ قدرة اللوح = 10,000 W ÷ 500 W = 20 لوح.

يمكن توزيع هذه الألواح على سلاسل متعددة وفق حد جهد MPPT للإنفرتر.

### تقدير إنتاج الطاقة السنوي:

باستخدام بيانات الطقس (irradiance) وزاوية الميل، يمكن تقدير إنتاج الطاقة المتوقع.

هذا يساعد على التأكد من أن النظام يلبي احتياجات الاستهلاك.

### ما يقدمه البرنامج هنا:

إدخال بيانات الألواح والإنفرتر والبطاريات.

محاكاة إنتاج الطاقة شهريًا وسنويًا.

رسم تأثير الظل والزوايا على إنتاج الطاقة.

إعطاء تقدير للخسائر المختلفة (حرارية، مقاومة، قوس كهربائي، إلخ).

## خلاصة المثال:

المهندس أو الفني الذي يفهم الأساسيات يمكنه:

قراءة وتهيئة البيانات بشكل صحيح في البرنامج

تفسير النتائج وفهم سبب أي انخفاض في الإنتاج

اتخاذ قرارات تصميمية أو تعديل بسيط في الموقع إذا لزم الأمر

حتى حساب تقدير سريع للنظام يدوياً إذا تعذر استخدام البرنامج

باختصار: الأساسيات تمنحك القدرة على استخدام البرامج بوعي، وليست البرامج نفسها ما تعطيك كل شيء.

# خاتمة الكتاب

بعد استعراض كل فصول الكتاب، يمكننا التأكيد على نقطة أساسية جدًا: المعرفة النظرية والحسابات اليدوية هي العمود الفقري لأي مهندس أو فني يعمل في مجال الطاقة الشمسية.

لقد تعلم القارئ أساسيات أنظمة الطاقة الشمسية، بما يشمل:

الأنظمة الكهربائية: On-Grid، Off-Grid، Hybrid، ومكوناتها (الألواح، الإنفرترات، البطاريات) وكيفية اختيارها وتوصيلها بما يتناسب مع الحمل والاستخدام.

الأنظمة الحرارية: مكونات السخانات الحرارية وأنواعها (مسطحة وأنابيب حرارية)، ومتى يُفضل استخدامها لتسخين المياه أو لتطبيقات محددة في البيوت والمزارع.

تحليل الزوايا والظل وأثرها على الأداء.

تصميم التوصيلات والسلاسل (Strings) وفهم خصائص الداتا شييت لكل مكون.

الحسابات اليدوية الأساسية لتقدير حجم النظام، القدرة المطلوبة، وطريقة اختيار المكونات.

كل هذه المعارف ليست مجرد معلومات نظرية، بل لبنة أساسية تمكن المهندس أو الفني من العمل على برامج التصميم المتخصصة بوعي وفهم كامل.

البرامج، سواء كانت PVsyst أو PV*SOL أو غيرها، ليست أداة لإدخال بيانات عشوائية.

فهم الأساسيات يسمح للمتدرب بـ:

إدخال البيانات بدقة لكل نوع نظام، كهربائي أو حراري

تفسير نتائج البرنامج بشكل منطقي وواقعي

التحقق من صحة التصميم قبل التنفيذ الفعلي

التعامل مع أي ظروف طارئة أو سيناريو غير متوقع

وحتى إجراء تقديرات سريعة يدوياً عند الحاجة

بهذه الطريقة، يكون المتدرب قادرًا على دمج المعرفة النظرية مع الأدوات العملية، وفهم كيفية عمل النظام ككل، وليس مجرد الاعتماد على برنامج أو جهاز.

باختصار: الأساسيات تمنحك الثقة والفهم العميق، سواء للتصميم الكهربائي أو الحراري، والبرامج هي الأداة التي تساعدك على التطبيق والتحليل بسرعة ودقة.

# المراجع

## المراجع العربية


الطاقة الشمسية كتاب– ( مجلة العلوم والتقنية – غير محدد سنة)

https://www.alarabimag.com/books/20907-%D8%A7%D9%84%D8%B7%D8%A7%D9%82%D8%A9-%D8%A7%D9%84%D8%B4%D9%85%D8%B3%D9%8A%D8%A9.html

الطاقة الشمسية الحرارية كتاب– ( المهندس بشير صبحي أحمد – غير معرف الناشر – غير محدد سنة)

https://www.alarabimag.com/books/5658-%25D8%25A7%D9%2584%D8%25B7%D8%25A7%D9%2582%D8%25A9-%25D8%25A7%D9%2584%D8%25B4%D9%2585%D8%25B3%D9%258A%D8%25A9-%25D8%25A7%D9%2584%D8%25AD%25D8%25B1%D8%25A7%D8%25B1%25D9%258A%D9%25287.html

الطاقة الشمسية واستخداماتها – المهندس محمد البيلى – غير معرف الناشر – غير محدد سنة

https://www.alarabimag.com/books/2824-%D8%A7%D9%84%D8%B7%D8%A7%D9%82%D8%A9-%D8%A7%D9%84%D8%B4%D9%85%D8%B3%D9%8A%D8%A9-%D9%88-%D8%A5%D8%B3%D8%AA%D8%AE%D8%AF%D8%A7%D9%85%D8%A7%D8%AA%D9%87%D8%A7.html

فيزياء الطاقة الشمسية – سي جوليان تشِن ترجمة عربية – مؤسسة هنداوي 2020

https://www.hindawi.org/books/79392975/


## المراجع الأجنبية كتب علمية كاملة


Solar Electricity Handbook – Michael Boxwell – Greenstream Publishing – 2012

https://www.solarelectricityhandbook.com

Singh, Prabhakar Tiwari, Sumit Ni wasFundamentals and Innovations in Solar Energy – Sri Tiwari – Springer Nature – 2021

https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-33-6456-1

Handbook of Solar Energy: Theory, Analysis and Applications – G. N. Tiwari, Arvind Tiwari, Shyam – Springer Nature – 2016

https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-10-0807-8

The Sun and Photovoltaic Technologies – Tomislav Pavlovic (Ed.) – Springer Nature – 2020

https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-22403-5

Solar Electric Power Generation – Photovoltaic Energy Systems – Stefan C. W. Krauter – Springer – 2006

https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-31346-5

Photovoltaic Systems Engineering – Roger A. Messenger, Jerry Ventre – CRC Press – 2012

https://www.amazon.com/Photovoltaic-Systems-Engineering-Roger-Messenger/dp/1466570393

Solar Energy: Fundamentals, Technology and Systems – John Twidell, Tony Weir – Routledge – 2015

https://www.amazon.com/Solar-Energy-Fundamentals-Technology-Systems/dp/0419211024

Renewable Energy Handbook – William Kemp – CRC Press – 2019

Technology/dp/1498741196

IEC 60364-7-712 Electrical Installations for PV Systems اللجنة الدولية للتقانة الكهربائية2018

https://lsp.global/ar/electrical-installations-for-photovoltaic-solar-power-system/

## المقالات والدراسات العلمية

Energies Journal – 2023MdpiA Review on Solar Panel Cleaning Systems and Techniques –

https://www.mdpi.com/1996-1073/16/24/7960

Safety Risks and Maintenance of Solar Panels – Scientific Journal – 2022

https://www.scientific-jl.com/new/article/view/18130

